ISSN 1992-5980

ВЕСТНИК

ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Том 8 №4(39)

2008

ВЕСТНИК
ДОНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2008

Т.8 №4(39)

Теоретический и научно-практический журнал

Рекомендован ВАК для публикаций результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора наук по направлению «Машиностроение» и кандидата наук по направлениям: «Управление, вычислительная техника и информатика», «Инженерно-агропромышленные специальности»

Издается с 1999 г.
Выходит один раз в квартал
ДЕКАБРЬ 2008 г.

Учредитель – **Донской государственный технический университет**

Главный редактор д-р техн. наук Б.Ч. Месхи
Зам. главного редактора д-р техн. наук И.В. Богуславский
Ответственный секретарь д-р техн. наук В.П. Димитров

Редакционная коллегия:

Направление «Управление, вычислительная техника и информатика»:
д-р техн. наук Р.А.Нейдорф, д-р техн. наук М.Е.Попов,
д-р техн. наук Б.В.Соболь, д-р техн. наук А.К.Тугенгольд

Направление «Инженерно-агропромышленные специальности»:
академик РАСХН, д-р техн. наук И.А.Долгов, д-р техн. наук В.П.Жаров,
д-р техн. наук Ю.И.Ермольев, д-р техн. наук И.А.Хозяев,
д-р техн. наук О.А.Полушкин

Направление «Машиностроение»:
д-р техн. наук А.П.Бабичев, д-р техн.наук В.Л.Заковоротный,
д-р техн. наук А.С.Кужаров, д-р техн. наук В.Ф.Лукьянов,
д-р техн. наук В.Г.Люлько, д-р техн. наук В.Н.Пустовойт,
д-р техн. наук Ю.Н.Резников, д-р техн. наук А.А.Рыжкин,
д-р техн. наук В.С.Сидоренко, д-р техн. наук А.Н.Соловьев,
д-р техн. наук М.А.Тамаркин, д-р техн. наук А.Н.Чукарин

Над номером работали: О.А.Водолазова, Е.В.Хейгетян

Подписано в печать 22.12.2008.
Формат 30x42/8. Гарнитура «Tahoma». Печать офсетная.
Усл.печ.л. 18,1. Тираж 1000 экз. Заказ 569. Цена свободная

Адрес редакции:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-747

Адрес издательского центра:
344000, г.Ростов-на-Дону, пл.Гагарина, 1,
тел. 2-738-741, 2-738-322

http://www.donstu.ru/vestnik
http://www.dstu.edu.ru/vestnik

Регистрационное свидетельство № ПИ № ФС 10-6367

© Издательский центр ДГТУ, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

Белявский Г.И., Чернов А.В. Контролируемость и управляемость в детерминированных динамических системах над конечными полями 357

Сайфутдинова Н.А. Оптимальное управление в модели эндогенного роста замкнутых экономических систем..... 366

Люлько А.В., Гриценко В.В., Жмайлов Б.Б., Люлько В.Г. Информационно-аналитические аспекты организации получения порошковых микрокомпозитов на основе железа 376

Нго Тхань Хунг. Метод вертикальной кластеризации отношений реляционных баз данных 382

Маринченко Ю.А., Литвиненко А.Н. Однородные конструкции..... 392

Аль-Згуль Мосаб Басам. Гибридные алгоритмы в системах кэширования объектов..... 403

Паршин Д.Я., Винокуров М.Р. Разработка способов моделирования переменных магнитных полей на основе сплошных проводящих сред..... 412

ИНЖЕНЕРНО-АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Радин В.В., Гнутов М.С., Куручук С.В. Аналитическая модель процесса разгона привода рабочих органов зерноуборочного комбайна при включении ленточной передачи..... 415

Арженовский А.Г., Асатурян С.В. К определению основных показателей двигателей тракторов с турбонаддувом по ускорению коленчатого вала на переходном режиме 420

Черноволов В.А., Луханин В.А., Поволоцкая Е.В. Обоснование параметров центробежного аппарата для распределения минеральных удобрений при реверсивном приводе дисков..... 426

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Жаров В.П., Рыбак А.Т., Затолокин С.А., Мирный В.И. Приведенная объёмная жёсткость гидравлических систем 433

Мозговой А.В. Виброзащитная система рабочего места оператора выбивной решетки для отделения формовочной смеси..... 441

Аль-Кудах А.М., Сидоренко В.С., Грищенко В.И. Моделирование процесса позиционирования поворотно-делительных механизмов автоматического технологического оборудования устройствами с гидравлическими линиями связи..... 447

Лебеденко В.Г. Математическое моделирование процесса формирования геометрических параметров поверхностного слоя и параметров упрочнения при обработке деталей дробью..... 458

Батищев Ю.А., Костенко В.И., Дудник В.В. Технические средства контроля и управления природно-ресурсным и экологическим мониторингом региона..... 469

Калашникова О.А., Шамшура С.А. Моделирование шумообразования оборудования для обработки длинномерных деталей в соразмерных помещениях..... 479

Лебеденко В.Г. Исследование эффективности снижения запыленности в рабочей зоне дробеметных камер..... 486

Раздорский С.А., Вилинов И.Е. Закономерности формирования спектров шума в кабинах мостовых кранов от воздействия источников воздушного шума..... 492

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Несмиян А.Ю., Лобачевский П.Я., Хижняк В.И. Экспериментальное определение направления равнодействующей сил сопротивления, действующих на присасываемое семя в вакуумном высевающем аппарате..... 500

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 512.624

Г.И. БЕЛЯВСКИЙ, А.В. ЧЕРНОВ

КОНТРОЛИРУЕМОСТЬ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ В ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НАД КОНЕЧНЫМИ ПОЛЯМИ

На основе линейного контрольного уравнения предложено свойство контролируемости детерминированных динамических систем над конечными полями. Установлена связь между контролируемостью и фундаментальным свойством управляемости системы. Построен пример синтеза контролируемой детерминированной динамической системы над конечным полем.

Ключевые слова: *динамическая система, конечное поле, характеристический полином, поле разложения.*

Введение. Целью статьи является исследование структуры динамических систем, обладающих свойствами, которые позволяют на основе простого контрольного уравнения обнаружить отказ системы в момент его возникновения. На основе исследования можно дать конкретные предложения по синтезу контролируемых систем.

В исследовании использована технология конечных полей. Поскольку основным инструментом исследования является характеристический многочлен над полем комплексных чисел, и, как и всякий многочлен, он вполне разложим, то требуется, чтобы характеристический многочлен приобрел аналогичное свойство над конечным полем. Поэтому, прежде всего, уделено внимание вопросу расширения исходного поля до поля, в котором характеристический многочлен становится вполне разложимым. Естественно, что расширение должно быть в некотором смысле минимальным.

Постановка и решение задачи синтеза контролируемой системы. Пусть F_q – конечное поле порядка q. Линейной стационарной динамической системой (A,B,C), функционирующей в дискретные моменты времени, будем называть систему, наблюдаемая последовательность которой – $w = Col(y,u)$ – удовлетворяет уравнениям [1,2]:

$$\begin{aligned} sx &= Ax + Bu; \\ y &= Cx, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $x \in R^n(q)$; $u \in R^r(q)$; $y \in R^p(q)$ - векторные пространства над полем F_q; $A \in R^{n\times n}(q)$; $B \in R^{n\times r}(q)$; $C \in R^{p\times n}(q)$ - пространства матриц соответствующих размерностей над полем F_q; s – оператор правого сдвига на пространстве последовательностей. Возникновение сбоя в некоторый момент времени t приводит к нарушению уравнений (1), т.е. мы наблюдаем в этот момент времени

$$w_t + \varepsilon_t = Col(y_t + \nu_t, u_t + \mu_t)$$

и

$$\begin{aligned} x_{t+1} &= Ax_t + B(u_t + \mu_t), \\ y_t + \nu_t &\neq Cx_t. \end{aligned} \qquad (2)$$

На основе (1) может быть построено контрольное уравнение

$$(l, y_t - Cx_t) = 0, l \neq 0, \qquad (3)$$

предназначенное для обнаружения искажений. Для вычисления контрольного уравнения необходимо вычисление скалярных произведений $(l, y_t), (C^{\mathrm{T}}l, x_t)$. Напомним, что последовательность x – ненаблюдаемая последовательность, поэтому для реализации (3) необходимо исключить x_t из контрольного уравнения:

$$x_t = A^t x_0 + \sum_{i=0}^{t-1} A^i B u_{t-1-i}. \qquad (4)$$

Далее будем считать, что $x_0 = 0$. Из (4) следует, что

$$(C^{\mathrm{T}}l, x_t) = \sum_{i=0}^{t-1} (C^{\mathrm{T}}l, A^i B u_{t-1-i}) = \sum_{i=0}^{t-1} \left(B^{\mathrm{T}} \left(A^{\mathrm{T}}\right)^i C^{\mathrm{T}} l, u_{t-1-i}\right). \qquad (5)$$

Отметим следующий факт. Если $B^{\mathrm{T}} \left(A^{\mathrm{T}}\right)^i C^{\mathrm{T}} l = 0$ для $i = 0,1,...,n-1$, то $(C^{\mathrm{T}}l, x_t) = 0$ для любого t, что существенно упрощает контрольное уравнение:

$$(l, y_t) = 0. \qquad (6)$$

Другими словами, если

$$\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathrm{T}} \left(A^{\mathrm{T}}\right)^i C^{\mathrm{T}}\right) \neq 0, \qquad (7)$$

то существует такой вектор l, для которого контрольное уравнение приобретает вид (6).

Определение. Систему (A,B,C) будем называть контролируемой, если для нее существует контрольное уравнение (6) или $\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}C^{\mathsf{T}}\right)\neq 0$.

Из (7) следует, что

$$\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\bigcap \mathrm{Im}\left(C^{\mathsf{T}}\right)\neq 0. \qquad (8)$$

Непосредственно из (8) получаем, что $\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\neq 0$.

Рассмотрим

$$\left(\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\right)^{\perp}=\sum_{i=0}^{n-1}\left(Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\right)^{\perp}=\sum_{i=0}^{n-1}\mathrm{Im}\left(A^{i}B\right).$$

Подпространство $R_0=\sum_{i=0}^{n-1}\mathrm{Im}\left(A^{i}B\right)$ совпадает с управляемым подпространством (A,B). Следовательно, учитывая работу [1], сформулируем

Утверждение 1. Необходимым условием для контролируемости динамической системы является условие $R_0\subset R^n$, или пара (A,B) является неуправляемой парой.

Допустим, что пара (A,B) является неуправляемой парой, но $\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\bigcap \mathrm{Im}\left(C^{\mathsf{T}}\right)=0$. Рассмотрим произвольный вектор l и вектор $g\in\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)$. Обозначим через $v=C^{\mathsf{T}}l-g$. Рассмотрим матрицу $\tilde{C}=\begin{pmatrix}C\\ v^{\mathsf{T}}\end{pmatrix}$ и вектор $\hat{l}=\begin{pmatrix}l\\ -1\end{pmatrix}$, тогда $\hat{C}^{\mathsf{T}}\hat{l}=g$.

Следовательно, $\bigcap_{i=0}^{n-1} Ker\left(B^{\mathsf{T}}\left(A^{\mathsf{T}}\right)^{i}\right)\bigcap \mathrm{Im}\left(\hat{C}^{\mathsf{T}}\right)\neq 0$, и для системы $\left(A,B,\hat{C}\right)$ существует такой вектор l, для которого контрольное уравнение приобретает вид (6). Система отличается от системы (A,B,C) дополнительным выходом. Таким образом, доказано следующее утверждение.

Утверждение 2. По любой неуправляемой системе (A,B,C) можно построить контролируемую систему $(A,B,\widehat{C})$, причем матрица $\widehat{C}$ либо совпадает с матрицей C, либо содержит одну дополнительную строку.

Рассмотрим управляемую динамическую систему (A,B,C) и H – минимальное собственное подпространство A^{T} размерности m и $\{g_i\}$ – ортонормированный базис в H.

Отметим, что справедливо следующее утверждение.

Утверждение 3. Неравенство $m < n$ выполняется тогда и только тогда, когда характеристический многочлен матрицы A^{T} разложим над полем F_q.

Рассмотрим проекцию x_{t+1} на подпространство H:

$$\sum_i (g_i, x_{t+1}) g_i = \sum_i (Ax_t + Bu_t, g_i) g_i =$$

$$= \sum_i (A^{\mathrm{T}} g_i, x_t) g_i + \sum_i (u_t, B^{\mathrm{T}} g_i) g_i.$$

Поскольку вектор $A^{\mathrm{T}} g_i \in H$, то $A^{\mathrm{T}} g_i = \sum \alpha_{i,k} g_k$.

Следовательно,

$$\sum_i (g_i, x_{t+1}) g_i = \sum_{i,k} \alpha_{i,k} (g_k, x_t) g_i + \sum_i (u_t, B^{\mathrm{T}} g_i) g_i.$$

Поскольку векторы g_i – линейно независимые, то $\forall i$ выполняется равенство

$$(g_i, x_{t+1}) = \sum_k \alpha_{i,k} (g_k, x_t) + (u_t, B^t g_i).$$

Пусть $z_t = \{(g_i, x_t)\}$. Тогда $z_{t+1} = \tilde{A} z_t + \tilde{B} u_t$, где $\tilde{A} = (\alpha_{i,k})$, $\tilde{B} = ((g_i, b_j))$, а b_j – j-й столбец матрицы B. Рассмотрим динамическую систему $(\widehat{A}, \widehat{B}, \tilde{C})$ с пространством состояний R^{n+m}, с матрицей $\widehat{A} = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & \tilde{A} \end{pmatrix}$, матрицей $\widehat{B} = \begin{pmatrix} B \\ \tilde{B} \end{pmatrix}$ и матрицей $\tilde{C} = (C \quad 0)$. Наблюдаемая последовательность динамической системы (A,B,C) совпадает с наблюдаемой последовательностью динамической системы $(\widehat{A}, \widehat{B}, \tilde{C})$. Является справедливым следующее утверждение.

Утверждение 3. Пара $\left(\widehat{A},\widehat{B}\right)$ не является управляемой.

Действительно, пространство R^n является собственным подпространством пространства R^{n+m}. С другой стороны, управляемое пространство пары $\left(\widehat{A},\widehat{B}\right)$ – $\widehat{R}_0 = R^n$, так как $H \subseteq R^n$.

Из утверждений (1) и (3) следует утверждение 4.

Утверждение 4. По любой управляемой динамической системе $\left(A,B,C\right)$ можно построить контролируемую динамическую систему $\left(\widehat{A},\widehat{B},\widehat{C}\right)$, причем матрица $\widehat{C}$ либо совпадает с матрицей $\tilde{C}$, либо содержит одну дополнительную строку.

Рассмотрим случай, когда минимальное собственное подпространство матрицы A^{T} совпадает с пространством R^n, т.е. характеристический полином матрицы A^{T} неприводим над полем F_q. В этом случае $\tilde{A} = A$, что эквивалентно дублированию динамической системы.

Дальнейшее изложение опирается на известные из теории конечных полей факты [3], которые можно сформулировать в виде следующей теоремы.

Теорема 1. Если $f \in F_q\left[x\right]$ – неприводимый многочлен степени n над F_q, то его полем разложения над F_q является поле F_{q^n}. При этом все корни многочлена f простые и ими являются $\alpha, \alpha^q, ..., \alpha^{q^{n-1}}$, где α – некоторый корень многочлена f. Причем поле F_{q^n} изоморфно фактор-полю $F_q\left[x\right]/f\left(x\right)$ и является векторным пространством размерности n над полем F_q. Элементы $\left\{1, \alpha, ..., \alpha^{m-1}\right\}$ образуют базис этого пространства.

Теорема 1 позволяет предложить конструктивный алгоритм построения поля разложения F_{q^n}.

Рассмотрим динамическую систему $\left(A,B,C\right)$ над полем F_q, которую обозначим DS_q, и характеристический многочлен f матрицы A^{T} неприводим над полем F_q. Построим поле разложения многочлена f – F_{q^n} и рассмотрим динамическую систему $\left(A,B,C\right)$ над полем F_{q^n}, которую обозначим DS_{q^n}. Поскольку F_q является подполем поля F_{q^n}, то

наблюдаемая последовательность DS_q совпадает с наблюдаемой последовательностью DS_{q^n}, если компоненты входной последовательности u являются элементами поля F_q.

Является справедливым

Утверждение 5 Если система DS_q управляемая, то система DS_{q^n} также управляемая. Действительно, управляемое пространство системы $R_0\left(q^n\right)$ является линейной оболочкой управляемого пространства системы DS_q – $L\left(R_0\left(q\right)\right)$ в векторном пространстве $R^n\left(q^n\right)$. Поскольку $R_0\left(q\right)=R^n\left(q\right)$, то $L\left(R_0\left(q\right)\right)=R^n\left(q^n\right)$.

В результате формулируется

Утверждение 6.По любой управляемой динамической системе DS_q над полем F_q, у которой характеристический многочлен матрицы A^{T} – $f_{A^T}\left(x\right)$ неприводим над полем F_q, можно построить контролируемую динамическую систему DS_{q^n} над полем F_{q^n}, причем матрица $\widehat{C}$ либо совпадает с матрицей $\tilde{C}$, либо содержит одну дополнительную строку; размер матрицы $\widehat{A}$ – $\left(n+1\right)\times\left(n+1\right)$, размер матрицы $\widehat{B}$ – $\left(n+1\right)\times r$.

Пример синтеза контролируемой системы

Построим пример синтеза дискретной динамической системы над конечным полем, иллюстрирующий применение предложенного нами свойства контролируемости.

Рассмотрим кольцо многочленов над полем F_q – $F_q\left[x\right]$.

Приведем теорему, которая позволяет предварительно определить структуру поля разложения.

Теорема 2. Если $f\in F_q\left[x\right]$ – неприводимый многочлен над полем $F_q\left[x\right]$, то фактор-кольцо $F_q\left[x\right]\Big/\left(f\right)$ является полем.

Теперь можно сформулировать следующую теорему.

Теорема 3. Поле F_{q^n} изоморфно фактор-полю $F_q\Big/\left(f\right)$ и может рассматриваться как векторное пространство размерности n над полем F_q.

Рассмотрим пример построения расширения.

Пример. Рассмотрим поле F_3 и характеристический многочлен матрицы $A^T = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$ – $f(x) = x^2 + x + 2$, который неразложим над этим полем.

Пусть α некоторый корень этого многочлена. Из теоремы 3 следует, что расширение поля F_3 до поля разложения F_9 является подпространством размерности 2, а $[1, \alpha]$ образуют базис этого пространства. Построим таблицы операций сложения и умножения в поле F_9.

Таблица сложения

+	0	1	2	α	α+1	α+2	2α	2α+1	2α+2
0	0	1	2	α	α+1	α+2	2α	2α+1	2α+2
1		2	0	α+1	α+2	α	2α+1	2α+2	2α
2			1	α+2	α	α+1	2α+2	2α	2α+1
α				2α	2α+1	2α+2	0	1	2
α+1					2α+2	2α	1	2	0
α+2						2α+1	2	0	1
2α							α	α+1	α+2
2α+1								α+2	α
2α+2									α+1

Таблица умножения

*	0	1	2	α	α+1	α+2	2α	2α+1	2α+2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1		1	2	α	α+1	α+2	2α	2α+1	2α+2
2			1	2α	2α+2	2α+1	α	α+2	α+1
α				2α+1	1	α+1	α+2	2α+2	2
α+1					α+2	α	2	α	2α+1
α+2						2	2α+2	1	α
2α							2α+1	α+1	1
2α+1								2	2α
2α+2									α+2

В примере построенное поле является полем разложения для многочлена $f(x) = x^2 + x + 2$. Действительно, легко проверяется, что $f = (x - \alpha)(x - 2\alpha - 2)$, т.е. $2\alpha + 2$ – второй корень многочлена.

Рассмотрим динамическую систему над полем F_3.

$$x_{t+1} = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} x_t + \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix} u_t, \qquad (9)$$

$$y_t = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix} x_t.$$

Вычислим пространство управляемости системы

$$R_0 = \lambda \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix} + \delta \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix},$$

$\lambda, \delta = \{0,1,2\}$. Нетрудно проверить что $R_0 = R^2(3)$. Следовательно, динамическая система (9) не является контролируемой. Поскольку, как было показано ранее, характеристический многочлен неприводим, следует рассмотреть динамическую систему над полем F_9. Матрица $\widehat{A} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{pmatrix}$, матрица $\widehat{B} = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ \alpha + 2 \end{pmatrix}$, матрица $\tilde{C} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 2\alpha & 0 & 0 \end{pmatrix}$ вычислялись с применением таблиц сложения и умножения в поле F_9. В силу утверждения 6 рассмотренная в (9) динамическая система является контролируемой.

Выводы. В статье предложено определение контролируемости системы на основе линейного контрольного уравнения (6). Установлена связь между контролируемостью и управляемостью в виде утверждения 1. На основе этого предложен метод внесения минимальной избыточности с целью сделать управляемую систему контролируемой (утверждение 6).

Библиографический список

1. Уонем М. Линейные многомерные системы управления /М.Уонем. – М.: Наука, 1980. – 375 с.

2. Oded G. Discrete Dynamical Systems / G. Oded. – Springer-Verlag, 2007. – 152 p.

3. Лидл Р. Конечные поля / Р.Лидл, Г.Нидеррайтер. Т1 и Т2. – М.: Мир, 1988. – 818 с.

Материал поступил в редакцию 24.11.08.

G.I.BELIAVSKIY, A.V. CHERNOV

INSPECTABILITY AND CONTROLLABILITY IN DETERMINED DYNAMIC SYSTEMS OVER FINITE FIELDS

On the basis of linear control equation the inspectability property of determined dynamic systems over finite fields has been offered. Connection between inspectability and fundamental property of controllability of system is established. The synthesis example of the inspectable determined dynamic system over finite field has been constructed.

БЕЛЯВСКИЙ Григорий Исаакович (р. 1950), заведующий кафедрой «Прикладная математика и вычислительная техника» Ростовского государственного строительного университета, доктор технических наук (1994), профессор (1995). Окончил Ростовский государственный университет (1972) по специальности «Прикладная математика».
Основные направления научной деятельности: искусственный интеллект, случайные процессы, распознавание образов.
Автор более 100 научных работ.

ЧЕРНОВ Андрей Владимирович (р. 1971), доцент кафедры «Прикладная математика и вычислительная техника» Ростовского государственного строительного университета, кандидат технических наук (1998). Окончил Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта (1993) по специальности «Автоматика, телемеханика и связь».
Область научных интересов: теория булевых функций, техническая диагностика и синтез дискретных систем.
Автор 54 научных работ, 2 учебников.

УДК 681.51

Н.А. САЙФУТДИНОВА

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В МОДЕЛИ ЭНДОГЕННОГО РОСТА ЗАМКНУТЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматривается математическая модель управления распределением инвестиций, в которой научно-технический прогресс учитывается в форме увеличения коэффициента эластичности по фактору капитал. Предложен алгоритм решения соответствующей задачи управления, при котором средства выделяются из объёма, выделявшегося ранее на инвестирование в производство. В результате в конечный момент времени удаётся достичь увеличения объёма выпуска по сравнению с объёмом, полученным по итогам рассматриваемого периода, а также получить максимальное накопление капитала.
Ключевые слова: *оптимальное управление, критерий максимальности.*

Введение. В работах Р.Солоу показано, что для неоклассических производственных функций экономический рост в долгосрочном плане ограничен темпами прироста трудовых ресурсов [1]. Поэтому, вскоре, внимание экономистов, занимающихся данной проблематикой, было переключено на научно-технический прогресс (НТП) как основной источник экономического роста. Представители нового направления неоклассицизма сводили НТП к экзогенному феномену. В 50-е годы 20-го столетия появились модели учёта НТП в виде введения в производственную функцию некоторого параметра *A(t)*. В зависимости от места привязки коэффициента *A* стали различать «нейтральный», по Хиксу, Харроду и Солоу, НТП [2]. Но при такой трактовке вопроса оставались в стороне проблемы мотивации инновационного процесса, формирования параметра *A*, и сам этот параметр являлся возрастающей функцией времени. Желание разрешить поставленные проблемы привело к отказу от концепции экзогенного НТП.

Теория эндогенного экономического роста появилась в конце 80-х гг. 20-го века. Переходными моделями можно назвать модели Эрроу [3] и Шешински [4], в которых НТП учитывался в процессе обучения при использовании основных фондов или же с помощью некоторого фактора *A*, определяемого уровнем знаний. В моделях Лукаса [5], Ромера [6,7], Агитона-Ховитта [8] влияние инноваций на технологические сдвиги моделировалось с учётом накопления человеческого капитала с помощью блока промежуточных товаров, влияющего на качество конечного продукта, себестоимость производства, эффективность основного капитала. Этот же подход развивается в работах Узавы [9], Беккера [10] и других представителей этого направления. Более подробный обзор этих моделей содержится, например, в [11].

Несмотря на разнообразие и многочисленность предложенных подходов, исследование внутренних механизмов влияния научно-технического

прогресса на эндогенный экономический рост всё ещё остаётся одной из главных нерешённых проблем в моделировании экономических систем. Другими словами, до сих пор не раскрыта суть той движущей силы, той «пружины», которая, подобно пружине часового механизма, является первопричиной постоянного экономического роста и социального прогресса. В работе авторов [12] показывается, что рост эластичности производственной функции по фактору капитал в рамках неоклассической модели роста Солоу может приводить к существенному росту накоплений. Отталкиваясь от предложенного в [12] подхода, в данной работе предлагается модель оптимального управления, в которой можно добиться увеличения выпуска и накопления капитала, выбирая некоторую последовательность управлений, направленных на получение эффективных технологий. Формулируется некоторая задача оптимизации, решение которой позволяет установить оптимальный уровень инвестиций, необходимый для достижения максимального темпа экономического роста. Данная модель тестируется на примере советской экономики за период 1961-1985 гг. Показано, что увеличение инвестиций в научно-исследовательский сектор (НИС) могло бы привести к увеличению темпов роста на 10-15 %.

Постановка задачи. Из результатов, изложенных в [12], следует, что при $\alpha_K \to 1,\ t \to \infty$ функция накопления капитала *K(t)*, удовлетворяющая уравнению Рамсея – Солоу, теоретически может расти неограниченно (при этом соответствующая производственная функция удовлетворяет всем условиям неоклассической функции). Легко показать, что вообще с любым ростом α_K накопление *K(t)* возрастает. Поэтому одна из возможных трактовок эндогенного экономического роста может быть связана с тем, что научно-технический прогресс приводит к росту α_K, т.е. росту эластичности по фактору капитал, другими словами, приводит к повышению эффективности отдачи в использовании основных фондов. Тогда ясно, что инвестиции в исследования и новые разработки в научно-исследовательский сектор будут приводить к росту α_K и, как следствие, к росту *K(t)*. Это и есть один из важнейших механизмов эндогенного экономического роста. В такой постановке возникает естественная задача оптимального управления параметром α_K.

Будем считать, что для абстрактного производственного цикла можно получить некоторую функцию, аппроксимирующую значения коэффициента эластичности по фактору капитал α_K от расходов на науку $s_н$, т.е. от объёма инвестиций $s_н F$, где F – объём выпуска в предшествующий момент времени. Тогда можно считать, что у нас есть некоторая возрастающая функция $\alpha_K = \alpha_K(s_н F)$. Таким образом можно получить для каждого управления $s_н$ некоторую качественную оценку изменения коэффициента эластичности по фактору капитал α_K и рассмотреть

производственный цикл того же продукта, но уже с другими технологическими условиями.

Заметим, что в рассматриваемой модели оптимального управления фактор труда $L(t)$ считается некоторой заранее известной функцией, изменение которой в большой замкнутой системе определяется в основном демографическим фактором.

Пусть при $t<t_0$ имеем некоторый первоначальный производственный процесс. В результате накопления на этом этапе фактор капитал достиг значения K_0. Пусть при этом объём трудовых ресурсов равен L_0. Тогда на следующем временном интервале $[t_0;t_1]$ система развивается согласно уравнению Солоу [1], в котором для определенности принимается производственная функция Кобба-Дугласа. Пусть при этом s – доля выпуска, инвестируемая в старые основные фонды (будем считать ее константой). С целью повышения эффективности и достижения более оптимального управления будем считать, что величина $s_н = s_0,\ 0< s_0 <s$ обозначает инвестиции в научно-исследовательский сектор и изымается из средств, ранее инвестировавшихся в старые основные фонды. Тогда согласно модели Солоу имеем нелинейное обыкновенное дифференциальное уравнение, описывающее динамику капитала с течением времени,

$$\frac{dK}{dt} = (s - s_0)\, A\, K^{\alpha_0} L^{1-\alpha_0} - \mu\, K(t), \quad L = L_0, \qquad (1)$$

которое мы рассматриваем на временном отрезке $t_0<t<t_1$. Здесь $A>0$ – некоторый известный числовой коэффициент; μ - коэффициент амортизации; $0<\alpha_0<1$ – коэффициент эластичности по фактору капитал.

Если данный отрезок времени мал по сравнению со всем периодом цикла производственного развития, то все функции, входящие в правую часть уравнения Солоу (1) на данном временном интервале, можно считать постоянными. Можно доказать, что при этом погрешность в определении приращения капитала является малой второго порядка. При таких условиях можно считать функцию $L(t)$ имеющей некоторое постоянное значение L_0.

Уравнение (1) с начальным условием

$$K(t_0) = K_0 \qquad (2)$$

представляет собой классическую задачу Коши, решение которой имеет следующий вид:

$$K(t) = \left(\frac{(s - s_0) A L_0^{1-\alpha}}{\mu} \cdot \left(1 - e^{\mu(1-\alpha)(t_0 - t)}\right) + K_0^{1-\alpha} \cdot e^{\mu(1-\alpha)(t_0 - t)} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}, \alpha = \alpha_0. \quad (3)$$

Из этого явного вида легко извлекается новое значение капитала K_1 в момент времени t_1. Соответственно, легко вычисляется новое значение выпуска F в момент времени t_1, т.е.

$$K(t_1) = K_1, \quad F_1 = A K_1^{\alpha_0} L_1^{1-\alpha_0}. \qquad (4)$$

Зададим новое значение $s_н = s_1$, $0 < s_1 < 1$ для промежутка $[t_1;t_2]$. Из функции $\alpha_K = \alpha_K(s_1,F_1)$ находим новое значение α_1. Тогда производственный процесс для промежутка $t_1<t<t_2$ может быть описан аналогично уравнению (1):

$$\frac{dK}{dt} = (s - s_1)\, A\, K^{\alpha_1} L_1^{1-\alpha_1} - \mu\, K(t) \qquad (5)$$

с новым начальным условием

$$K(t_1) = K_1 \ . \qquad (6)$$

Решая новую задачу Коши (5) и (6), получаем новое значение капитала K_2 в момент времени t_2, что приводит к новому значению выпуска: $F_2 = A K_2^{\alpha_1} L_2^{1-\alpha_1}$, где L_2 – объём трудовых ресурсов в момент времени t_2.

Продолжая процесс и задавая новое значение s_2, получаем новое значение α_2 и можем решать уравнение, аналогичное (5), для $t_2<t<t_3$. Таким образом, получим новые значения K_3 и F_3 - соответственно объёмы основных фондов и выпуска в момент времени t_3.

В общем виде приходим к следующему алгоритму вычисления значений капитала и объёма выпуска в последующий момент времени t_{i+1} в зависимости от известных значений тех же величин в момент времени t_i. Пусть в момент времени t_i известны величины:

$$K(t_i) = K_i \ ; \ L(t_i) = L_i ; \ F(t_i) = F_i \ . \qquad (7)$$

Фиксируем значение величины $s_н = s_i$, т.е. долю выпуска, инвестируемую в научно-исследовательский сектор, причём $0<s_i<s$. Таким образом, получаем величину $s_i F_i$ – некоторый объём инвестиций на науку, который позволяет увеличить эффективность капитала, т.е. повысить коэффициент эластичности по фактору капитал до значения $\alpha_i = \alpha_K(s_i F_i)$. Тогда для $t_i<t<t_{i+1}$ получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{dK}{dt} = (s - s_i)\, A\, K^{\alpha_i} L_i^{1-\alpha_i} - \mu\, K(t) \ . \qquad (8)$$

Решая задачу Коши, состоящую из уравнения (8) и начального условия (7), получаем $K_{i+1}=K(t_{i+1})$ и соответственно можем вычислить

$$F_{i+1} = A\, K_{i+1}^{\alpha_i}\, L_{i+1}^{1-\alpha_i} \ ,$$

где L_{i+1} – объём трудовых ресурсов при $t=t_{i+1}$.

Очевидно, что при фиксированных значениях правых частей (7) решение (8) зависит только от величины s_i. Таким образом, можно, меняя значение s_i и решая задачу (7), (8), получать различные значения капитала (или выпуска) в момент времени t_{i+1}.

Отметим, что величина значений K_i, F_i напрямую зависит от выбора величины s_i на соответствующем временном промежутке $[t_i, t_{i+1}]$. Естественно, что значения итоговых величин K_n, F_n зависят от всего набора значений s_i, $i=0,\ldots,n-1$. Тогда можно поставить следующую задачу: как выбрать оптимальное управление распределением инвестиций в НИС, т.е.

последовательность $(s_i)_{i=0}^{n-1}$ так, чтобы получить максимальный экономический эффект, т.е. максимальную величину K_n.

Сформулируем оптимизационную задачу более конкретно:

$$\begin{cases} K(t_i)=K_i\,,\ L(t_i)=L_i\,,\ F(t_i)=F_i \\ \alpha_i=\alpha_K(s_i\ F_i) \\ \dfrac{dK}{dt}=(s-s_i)\,A\,K^{\alpha_i}L^{1-\alpha_i}-\mu\,K(t),\ i=0,\ \dots\ ,n-1 \\ \max\limits_{(s_i)_{i=0}^{n-1}} K_n-? \end{cases} \qquad (9)$$

Здесь $K_0,F_0,L_0,\dots,L_n$ – статистические данные, K_i для $i>0$ – решение (i-1)-й задачи Коши, F_i вычисляется по формуле $F_i=A\,K_i^{\alpha_{i-1}}\,L_i^{1-\alpha_{i-1}}$ для $i>0$.

Методы решения оптимизационной задачи. Полученную оптимизационную задачу можно решать численно различными способами, например, методом покоординатного спуска или методом градиентного спуска. В результате решения получаем некоторую последовательность $(s_i)_{i=0}^{n-1}$, т.е. получаем план оптимального управления научными исследованиями и разработками на период времени $[t_0, t_n]$. При этом критерием выбора элементов этой последовательности является максимальность величины основных фондов в момент времени t_n. Нужно отметить, что в качестве t_i можно рассмотреть годы, кварталы, месяцы в зависимости от объекта исследования и наличия необходимых статистических данных.

Протестируем построенную модель на примере статистических данных для СССР за 1961-1985 гг. Пусть известны: $K_i,\ i=0,\dots,n-1$ – основные фонды за каждый год (в млрд. руб.); $L_i,\ i=0,\dots,n-1$ – объем трудовых ресурсов (пересчитанный через среднюю зарплату в млрд. руб.); $F_i,\ i=0,\dots,n-1$ – валовой общественный продукт (в млрд. руб.); $V_i,\ i=0,\dots,n-1$ – расходы на науку из госбюджета и других источников (в млрд. руб.), n=25. Эти данные приведены в табл.1.

Таблица 1

Основные макроэкономические показатели советской экономики

Годы	Валовой продукт F (в млрд.руб.)	Основные фонды K (в млрд. руб.)	Трудовые ресурсы L (в млрд. руб.)	Коэффициент эластичности по фактору капитал α	Расходы на науку V (в млрд. руб.)
1	2	3	4	5	6
1961	324	441,8	65,87	0,3	4,9
1962	343	477,1	70,76	0,323077	5,4
1963	356	515,3	75,60	0,342857	6,1
1964	388	556,5	81,35	0,36	6,6
1965	420	601	89,05	0,375	7,6
1966	451	648,9	96,91	0,388235	8,3
1967	502	700	105,07	0,4	9

Окончание табл.1

1	2	3	4	5	6
1968	559	754,6	114,08	0,410526	9,7
1969	622,2	813,5	123,72	0,42	10,4
1970	643,5	860	132,05	0,428571	11,7
1971	685,3	914,2	140,61	0,436364	13,3
1972	717,4	971,8	149,30	0,443478	14,7
1973	769,8	1082	158,26	0,45	16,4
1974	816,6	1150,2	167,66	0,456	17,46
1975	862,6	1256	178,81	0,461538	17,5
1976	903,9	1345	193,06	0,466667	17,7
1977	949,6	1437	198,16	0,471429	18,7
1978	995,7	1537	208,38	0,475862	19,8
1979	1028,1	1638	216,73	0,48	20,8
1980	1078,5	1742	228,02	0,483871	22,3
1981	1099,2	1851	235,98	0,4875	23,4
1982	1136,6	1968	245,10	0,490909	24,9
1983	1293,9	2092	253,56	0,494118	26
1984	1338,8	2233,8	261,73	0,497143	27,3
1985	1383,6	2333	268,73	0,5	28,6

Считаем, что коэффициент эластичности α меняется за указанный период с 0,3 до 0,5. Поэтому можно составить функцию, аппроксимирующую зависимость коэффициента эластичности по фактору капитал от объёма инвестиций в научно-исследовательский сектор,

$$\alpha_i = \frac{0,6 \cdot V_i + 0,615}{V_i + 6,95}. \qquad (10)$$

Полученную функцию (10) будем использовать для оценки значений α при новых (изменённых) значениях $V_i = s_i F$.

Из анализа статистических данных за указанный временной промежуток получаем, что доля выпуска, инвестируемого в старые основные фонды, равна s=0,165. При этом величина инвестиций в научно-исследовательский сектор не превышала 1,5% от валового продукта, т.е. s_0=0,015. Поставим следующую задачу управления: какую часть s нужно было инвестировать ежегодно в научно-исследовательский сектор для того, чтобы добиться наилучшего экономического эффекта?

Имеем: K_0=441 млрд. руб.; F_0=324 млрд. руб.; L_0=65,97 млрд. руб. Тогда при i=0 можно выбрать величину s_0, $s_0 : 0,015 < s_0 < 0,165$. Далее вычисляем $V_0 = s_0 \cdot F_0$, α_0 находим по формуле (10) при i=0. В итоге получаем следующую задачу Коши:

$$\begin{cases} \dfrac{dK}{dt} = (s - s_0) \cdot A \cdot K^{\alpha_0} \cdot L^{1-\alpha_0} - \mu \cdot K \\ K(t=0) = K_0,\ L(t=0) = L_0,\ F(t=0) = F_0, \end{cases} \qquad (11)$$

где μ=0,05.

Решая дифференциальное уравнение (11) описанным выше способом, получаем некоторое значение K_1 . Для новых значений K_1 и α_0 можно вычислить новое значение $F_1 = A \cdot K_1^{\alpha_0} \cdot L_1^{1-\alpha_0}$, т.е. мы получили новые значения основных фондов и валового продукта для второго года из рассматриваемого временного промежутка, иначе говоря, при i=1. Теперь обозначим $F_0=F_1$, $K_0=K_1$, $L_0=L_1$, и, выбирая следующее s_i, i=1, считаем α_1 по (10) и решаем новую задачу (5), (6). Проводим аналогичные рассуждения для i=2,…,n-1. В нашем случае n=25. Таким образом, мы можем составить последовательность $\left(s_i\right)_{i=0}^{n-1}$ и для каждой такой последовательности получаем свои значения K_n, F_n.

Отметим, что на основе имеющихся статистических данных для указанного временного промежутка удалось подобрать функцию, аппроксимирующую величину L в зависимости от времени. Эта функция не является константой и имеет следующий вид:

$$L(t) = 61 + 5t + 0{,}18t^2 - 0{,}0015t^3 . \qquad (12)$$

Используем соотношение (12) для подсчёта L_i, $i=0,\ldots,n-1$.

Отметим, что для лучшей аппроксимации статистических данных величину A также следует считать переменной. Нам удалось подобрать для нее следующее аппроксимирующее выражение:

$$A = 2{,}99 - 0{,}0363t ,$$

где $t=0,\ldots,n-1$. Легко показать, что рассуждения, сделанные выше, будут верны и в этом случае.

При сделанных выше пояснениях задача (9) оптимального управления была решена двумя разными методами: методом покоординатного спуска (МКС) и методом градиентного спуска (МГС). Из двух указанных методов более эффективным оказался МГС. Следует заметить, что, поскольку целевой функционал не удается выразить в явном виде, для реализации МГС значения градиента в текущей точке находили численно по формуле конечных разностей.

Для дополнительного тестирования эффективности предложенных алгоритмов был применен один из вариантов глобального случайного поиска [13] при решении сформулированной выше оптимизационной задачи. Основанием для этого послужило то, что описанные выше два метода носят локальный характер и в оптимизационных задачах со сложным поведением целевой функции могут приводить к нахождению лишь локальных максимумов, которые часто не совпадают с глобальным. Алгоритм, описанный в [13], представляет собой пошаговый итерационный процесс. На каждом шаге при нахождении максимума многомерной целевой функции $F(x)$, которая для простоты считается положительной, происходит вычисление ее значений в M случайных точках: $F_m = F(x_m), m = 1,\ldots,M.$ Далее подсчитываются вероятности

$$p_m = \frac{F_m}{\sum_{i=1}^{M} F_i}, m = 1,\ldots,M.$$

На следующем шаге итерации число новых случайных точек в окрестности «хороших» пробных точек предыдущих итераций выбирается пропорционально этим вероятностям. Таким образом, пробные точки следующих шагов выбираются в окрестности самых лучших пробных точек предыдущих шагов. Кроме того, области, в которых выбираются случайные точки последующих итераций, постепенно стягиваются к малым окрестностям «хороших» точек предыдущих итераций.

Реализация данного алгоритма на рассматриваемой тестовой задаче из экономики СССР привела к тем же числовым результатам, что и два вышеописанных локальных метода.

Результаты численного моделирования. В табл.2 указаны реальные значения $\left(s_i\right)_{i=0}^{n-1}$ в 1961-1985 гг и значения тех же величин, полученных методом градиентного спуска.

Таблица 2

Зависимость основного капитала от инвестиционной политики

Годы	s_i, i=0,n-1, по стат. данным	Основные фонды, в млрд. руб., по стат.данным	s_i, i=0,…,n-1, полученные методом градиентного спуска	Основные фонды, в млрд. руб., полученные методом градиентного спуска
1961	0,015	442	0,0373	475
1962	0,015	477	0,0348	513
1963	0,015	515	0,0337	555
1964	0,015	557	0,0329	602
1965	0,015	601	0,0323	652
1966	0,015	649	0,0315	706
1967	0,015	700	0,0309	764
1968	0,015	757	0,0303	827
1969	0,015	814	0,0297	894
1970	0,015	860	0,0290	966
1971	0,015	914	0,0254	1043
1972	0,015	972	0,0280	1124
1973	0,015	1082	0,0275	1210
1974	0,015	1150	0,0270	1301
1975	0,015	1256	0,0266	1396
1976	0,015	1345	0,0262	1496
1977	0,015	1437	0,0257	1600
1978	0,015	1537	0,0254	1709
1979	0,015	1638	0,0250	1822
1980	0,015	1742	0,0246	1939
1981	0,015	1851	0,0243	2060
1982	0,015	1968	0,0240	2184
1983	0,015	2092	0,0237	2312
1984	0,015	2234	0,0232	2443
1985	0,015	2333	0,0213	2576

Из табл.2 видно, что решение поставленной оптимизационной задачи позволяет получить значительное увеличение целевой функции. Реа-

лизация данного алгоритма на рассматриваемой тестовой задаче из экономики СССР привела к получению параметров управления $(s_i)_{i=0}^{n-1}$, при которых имеем K_{25}=2576 млрд. руб. (этот результат получен во всех трех методах). Таким образом, управляя инвестиционным процессом и выделяя на научные исследования и разработки указанные доли валового продукта, можно было бы получить значение на 10,4% превышающее реальное значение капитала в 1985 году, которое реально составило 2333 млрд. руб.

Выводы. Предложенная математическая модель основана на предположении о том, что более эффективные технологии приводят к увеличению такого макроэкономического параметра, как коэффициент эластичности по фактору капитал. При этом можно подобрать такую последовательность управлений, которая максимизирует накопление капитала. Предложенный алгоритм может быть использован для решения задач оптимизации в системах, описывающихся с помощью дифференциальных уравнений, определяющих поведение системы во времени. При этом от решения дифференциального уравнения на предыдущем временном интервале зависят начальные условия для задачи Коши на последующем интервале. Если это решение зависит от некоторых параметров управления, то предложенный алгоритм позволяет найти такую последовательность этих параметров, при которой достигает максимума некоторый критерий, выбранный в качестве оценки эффективности данной системы.

Автор выражает благодарность профессору М.А. Сумбатяну за постановку задачи.

Библиографический список

1. Solow R. A Contribution to the Theory of Economic Growth. Quart. J. Econ, 1956. – V. 70.

2. Браун М. Теория и измерение технического прогресса /М.Браун. – М.: Статистика, 1971.

3. Arrow K. J. The economic Implication of learning by Doing. – Rev. Econ. Stud, 1962. – V. 29.

4. Sheshinski E. Optimal accumulation with learning by doing. – Essays on the theory of optimal growth. Ed. K Shell. Cambridge. Mass.: MIT Press, 1967.

5. Lucas R. E. On one mechanics of economic development. J. Monetary Econ, 1988. – №7. – V. 22.

6. Romer P. M. Endogenous technical change. – J. Polit. Econ, 1990. – № 5. – V. 98.

7. Romer P. M. Capital accumulation in the theory of long-run growth. – Modern Macroeconomics. Ed. R. Barro. Cambridge. Mass.: Harvard Univ. Press, 1989.

8. Aghiton P., Howitt P. A model of growth through creative destruction. NBER Working Paper. N 3223. Cambridge. Mass., 1990.

9. Uzawa H. Optimal technical change in an aggregative model of economic growth. Int. Econ. Rev. 1965. – № 6. – V. 6.

10. Becker G. S., Murphy K. M., Tamura R. Human capital, fertility, and economics growth. – J. Polit. Econ, 1990. № 5. – V. 98.

11. Шараев Ю.В. Теория экономического роста /Ю.В.Шараев. – М.: Издательский дом ГУ ВШЭ, 2006.

12. Сумбатян М.А. Математическая модель эндогенного экономического роста /М.А.Сумбатян, Н.А.Сайфутдинова // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Сер. Естественные науки. Прил. – Ростов н/Д. – 2005. – № 11. –С.37-48.

13. Жиглявский А.А. Математическая теория глобального случайного поиска /А.А.Жиглявский. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1985.

Материал поступил в редакцию 7.10.08.

M.A. SUMBATYAN, N.A. SAYFUTDINOVA

OPTIMAL CONTROL IN A MODEL OF ENDOGENOUS GROWTH FOR CLOSED ECONOMIC SYSTEMS

In the work we study a mathematical model about control of investments distribution, when the technological change is taken into consideration as an increasing elasticity coefficient on the capital factor. There is proposed a solution algorithm to solve respective optimization control problem, where the investment funds are taken from the amount which was earlier intended for investments to the manufacture process. As a result, one can achieve at a final moment of time an additional volume of production, when compared with the one given by real statistical data, as well as to reach a maximum capital accumulation.

САЙФУТДИНОВА Наталья Анатольевна, ассистент кафедры высшей математики РГСУ (1998). Окончила магистратуру механико-математического факультета РГУ (1997).
Область научных интересов: математические модели в экономике, методы оптимизации и управления, численные методы прикладного анализа.
Имеет 7 опубликованных научных работ.

УДК 539.3: 621.762

А.В.ЛЮЛЬКО, В.В. ГРИЦЕНКО, Б.Б.ЖМАЙЛОВ, В.Г.ЛЮЛЬКО

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ МИКРОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Предложены основные этапы комплексного направления развития науки и практики порошковой металлургии как метода информационно-аналитического представления основных его аспектов. Даны основной алгоритм проведения операций и схема решения поставленных задач по объекту с некоторым числом неизвестных факторов. Намечены пути дальнейшего совершенствования представленной технологии порошковой металлургии и нанокомпозиционных материалов.

Ключевые слова: *моделирование, порошковые микрокомпозиты, матрица планирования, композиционные материалы*

Введение. В результате анализа многокомпонентной технологической системы, каковой является объект порошковой металлургии и композиционных материалов, были определены основные принципы построения и аналитические эмпирико-статистические аспекты этого процесса [1-3]. При этом исходили из следующих соображений.

Объектный подход на сегодняшний день является основным при разработке информационно-аналитических систем. Для его реализации необходимо описать все элементы, входящие в систему, их свойства и способы взаимодействия между ними. Поэтому на начальном этапе разработки необходимо выполнить структурный анализ системы [1], который понимается как метод исследования систем, включающий их общий обзор и дальнейшую детализацию, в целом порождающий иерархическую структуру модели исследуемого объекта.

Методика расчетов. Использование объектного подхода при разработке информационно-аналитической системы для исследования свойств многокомпонентных смесей в порошковой металлургии и композиционных материалах, разработка новых алгоритмов, способов хранения и обработки экспериментальных данных на основе технологий Java и XML являются в настоящий момент наиболее предпочтительными [1-3].

Задачи исследования технологической системы порошковой металлургии (ТС ПМ) заключаются в установлении взаимосвязи между входными параметрами - массовыми долями исходных смесей и выходными параметрами – свойствами полученного материала и определении уровней (долей исходных компонент), оптимизирующих получение материала с теми или иными свойствами. Данные задачи решаются с помощью методов планирования эксперимента и компьютерной обработки данных на диаграммах «состав – свойство».

Для решения этой задачи на ПЭВМ выбран объектно-ориентированный язык программирования Java2. Технология Java – это более чем язык программирования, это платформа, состоящая из виртуальной машины Java и интерфейса прикладного программирования. Это обстоятельство

обеспечивает кроссплатформенность приложения. То есть программа, написанная на языке Java, может выполняться на любой аппаратной платформе, под управлением любой операционной системы, как то Windows, Linux, Solaris и др.

В условиях неполного знания механизма явлений задачи идентификации и оптимизации, т.е. выбора оптимального состава многокомпонентных систем в порошковой металлургии и композиционных материалах, модель объекта исследования удобно представить в виде известной кибернетической системы с $m+n+t$ входами и k выходами (рис.1).

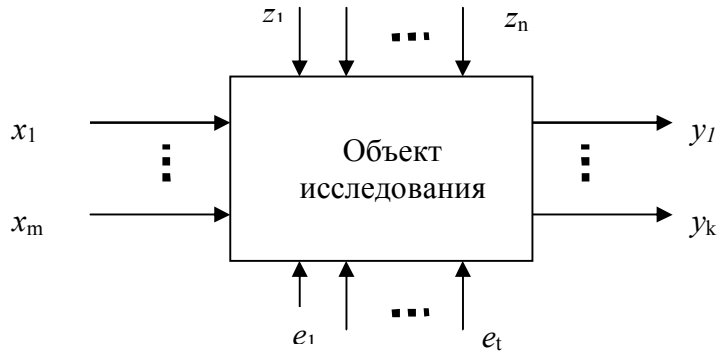


Рис.1. Модель объекта исследования

Каждый из выходных параметров зависит от состояния контролируемой управляемой части входов, определяемой m-мерным вектором $X=(x_1,x_2,\ldots,x_m)$, контролируемой неуправляемой части входов, определяемой n-мерным вектором $Z=(z_1,\ldots,z_n)$, и неконтролируемой части, определяемой t-мерным вектором $E=(e_1,e_2,\ldots e_t)$, функция выхода в этом случае имеет вид $y=F(X,Z,E)$.

Действие неконтролируемых возмущающих параметров проявляется в том, что выходной параметр системы при известной совокупности управляемых и неуправляемых контролируемых входных параметров характеризуется неоднозначно.

В описываемом случае, при исследовании ТС ПМ, используется активный эксперимент и стохастическая (вероятностно–статистическая) модель. Связь между входными и выходными параметрами системы описывается полиномом. Для оценки коэффициентов полинома, аппроксимирующего действительную зависимость (функцию отклика), необходимо располагать статистическим материалом, характеризующим состояние системы в процессе функционирования. Эту информацию получают путем активного вмешательства в функционирование системы и постановки опытов в определенных точках (x_{1j}, x_{2j}, x_{3j},), j = 1,2,..., k, где j - номер опыта, x_{1j}, x_{2j}, x_{3j} - концентрация каждого компонента в экспериментальной точке в допустимой области пространства управляемых параметров. При незначительном влиянии неуправляемых входных параметров по сравнению с вводимыми возмущениями управляемых параметров, если помеха аддитивно

накладывается на показатель качества и является реализацией случайного процесса с математическим ожиданием ε, систему можно описать моделью:

$$\mathrm{E}(Y) = f(X) + \varepsilon. \quad (1)$$

В данном случае контролируемая управляемая часть входов, определяемая вектором *X,* является смесью *q* различных компонентов, для конкретного случая q=3. Переменные $x_i (i = 1, \ldots q)$ являются пропорциями (относительным содержанием) *i*-х компонентов смеси и удовлетворяют условию

$$\sum_{1 \le i \le q} x_i = 1\,,\ 0 \le x_i \le 1\,. \quad (2)$$

Геометрическое место точек, удовлетворяющее условию нормированности суммы переменных (2), представляет собой *(q-1)*- мерный правильный симплекс (треугольник для *q=3*, тетраэдр для *q=4* и т.д.). Каждой точке такого симплекса соответствует смесь определенного состава, и наоборот, любой комбинации относительных содержаний *q* компонентов соответствует определенная точка на симплексе.

Впервые задача построения математической модели «состав-свойство», включающей все компоненты системы на симплекс - решетчатых планах, была решена Шеффе [4], который ввел каноническую форму полинома степени *n:*

$$\hat{y} = \sum_{1 \le i \le q} \beta_i x_i + \sum_{1 \le i < j \le q} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \le i < j \le q} \gamma_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \le i < j < k \le q} \beta_{ijk} x_i x_j x_k\,, \quad (4.3)$$

где $\hat{y}$ - расчетное значение отклика; $\beta_i, \beta_{ij}^{(n)}$, β_s– коэффициенты.

Полиномы такого вида (так называемые приведенные полиномы) получаются из обычных полиномов соответствующей степени для q переменных введением соотношения $\sum_{1 \le i \le q} x_i = 1$ и содержат C_{q+n-1}^{n} коэффициентов.

На основании вышеприведенных данных установлено, что основным объектом системы является матрица планирования эксперимента (МПЭ), которая создается на основании выбранной математической модели «состав – свойство» (рис.2). Это описывается в свою очередь приведенным полиномом соответствующей степени, кроме того, в качестве исходных данных для ее построения указывается концентрация компонентов порошковой смеси.

На основании вектора исходных данных происходит расчет коэффициентов и заполнение соответствующих столбцов МПЭ, где в столбце "Коэф.–Y2" - b1 соответствует β_1 и т.д., а g1 соответственно γ_1 и т.д.

Подобное исследование эмпирико-статистических и функциональных свойств микрокомпозиционных порошков и материалов на их основе указывает на возможность создания этапов разработанных материалов в виде некоторого общего алгоритма [5-9]. Он включает:

- сбор и анализ литературных, экспериментальных, прогностических, виртуальных и др. данных по проектируемому материалу и технологическим параметрам его изготовления;

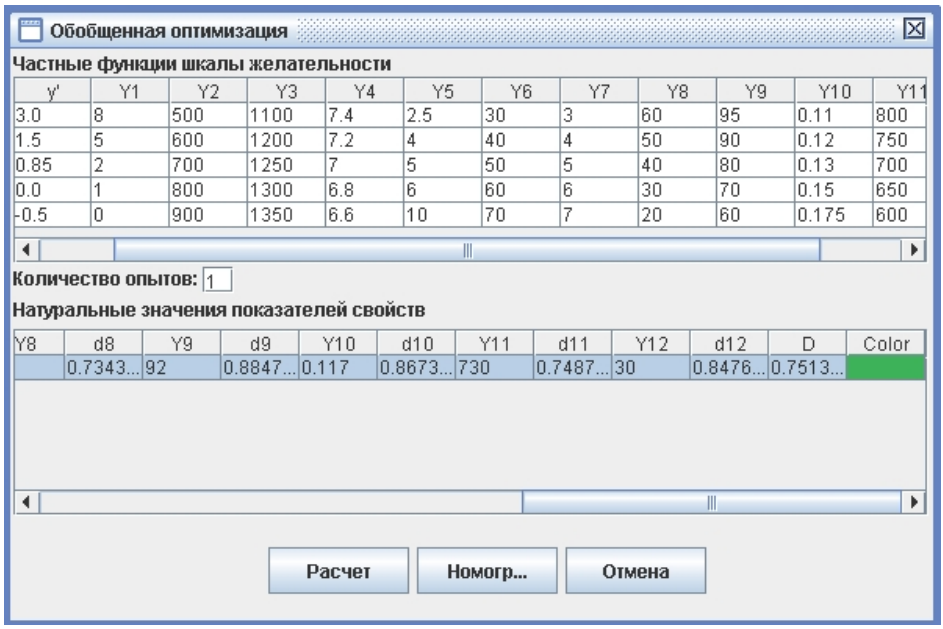


Рис.2. Матрица планирования экспериментов (МПЭ) рассматриваемой системы

- подбор матричных железных порошков отечественного или зарубежного производства (в том числе с учетом их стоимости) и условий их химико-термической обработки (ХТО);

- назначение режимов химико-термической обработки в вибрирующем слое (ХТО ВС), легирующих и смазочных элементов;

- проведение ХТО ВС с соблюдением назначенных параметров по оговоренным режимам и получение требующихся микрокомпозитов;

- построение предварительных функциональных зависимостей «комбинации составов – свойства» и парных, и многопараметрических 2D/3D моделей с выявлением «белых» пятен функционального пространства исследований;

- определение режимов переработки (обычно это давление прессования 4-7 т/см^2, температура спекания 950; 1000-1100; 1200^{o}C, доли присадки, дополнительной обработки – пропитка, мехобработка) микрокомпозитов Fe-Me-L в спеченные композиционные материалы различного назначения (обычно пористостью 5-10-15-20%);

- комплексное тестирование свойств микрокомпозитов «Fe-Me-L» по химическим, структурно-морфологическим, технологическим и др. показателям, в том числе по многопараметрическим критериям;

- экспериментальные исследования, графическая интерпретация и построение рациональных графоаналитических диаграмм «состав-свойство», совмещаемых с ранее построенными технологическими диаграммами, их оптимизация;

- вывод обобщенного критерия качества полученного материала и уровня технологического воздействия, итерационная адаптация технологи-

ческих параметров по функциональным, технологическим, экономическим и др. критериям;

- занесение микрокомпозита в банк данных и типовых технологий, производство и поставка качественного материала на рынок.

Таким образом может быть реализован типовой технологический процесс создания порошкового материала и композиционных микрокомпозитов, включающий все или некоторые из названных этапов, приводящие к достижению цели.

Выводы. Комбинации названных этапов проектирования, тестирования и контроля многокомпонентных материалов могут включать (или исключать) все эти и другие приемы работы, но конечной целью должно стать достижение экономико-технологического выигрыша, формирование которого находится во многом в руках производителя благодаря самой технологии порошковых компонентов, дозируемых и смешиваемых (композиционируемых дробно или массово) без каких-либо ограничений.

Библиографический список

1. Черемных С.В. Структурный анализ систем: IDEF – технологии / С.В.Черемных, И.О.Семенов, В.С.Ручкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.

2. Орлов А.И. Прикладная статистика /А.И.Орлов. – М.: Изд-во «Экзамен», 2004. – 656 с.

3. Глушаков С.В. Программирование на Java2 /С.В.Глушаков. – Харьков: Фолио; М.: АСТ, 2001. – 536 с.

4. Зедгенидзе И.Г. Планирование экспериментов при исследовании мультикомпонентных систем /И.Г.Зедгенидзе. – М., 1975. – 398 с.

5. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое - в малом // Nano technology News Network, 2007. – 436 с. www.nanonewsnet.ru (CD-R).

6. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения: сб.тр. Междунар. конф. Т.1 «Наноматериалы и технологии», «Порошковая металлургия». – Волгоград: Изд-во Политехник, 2004. – С.12-13.

7. Свидетельства № 2005611223, № 2005611224; № 2005611225 об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ // В.Г.Люлько, Б.Б.Жмайлов, А.Г. Краснобаев, А.В.Люлько и др. Проектирование многокомпонентных порошковых материалов по симплекс-диаграммам и оптимизация их свойств. Зарегистр. 25 мая 2005 г.; Бюл.ФИПС №3, 2005. – С. 109.

8. Люлько А.В., Жмайлов Б.Б., Бровер А.В. Адаптивное проектирование и тестирование многокомпонентных композиционных материалов по симплексным диаграммам «состав-свойства»//Упрочняющие технологии и покрытия. – 2007. – № 9. – С. 111-115.

9. Люлько А.В., Жмайлов Б.Б. Реализация принципов проектирования и анализа свойств поликомпонентных композиционных материалов. // Вестник ДГТУ. – 2007. – №2. – С.53-59.

Материал поступил в редакцию 27.10.08.

A.V. LYULKO, V.V. GRITSENKO, B.B. JMAILOV, V.G. LYULKO

INFORMATION-ANALYTICAL ASPECTS OF THE RECEPTION ORGANISATION OF POWDER MICROCOMPOSITES ON AN IRON BASIS

The basic stages of a complex development direction of a science and practice of powder metallurgy as method of information-analytical representation of its basic aspects are presented. The basic algorithm of carrying out of operations and the scheme of the decision of tasks in view on object with some number of unknown factors is given. Ways of the further perfection of the presented technology of powder metallurgy and nanocomposite
materials are planned.

Люлько Артем Валерьевич (р.1977), старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Порошковая металлургия». Действительный член Европейской ассоциации порошковой металлургии (ЕПМА), участник международного (Австрия-Россия-Украина) проекта Евросоюза по порошковым материалам (2004-2008 г.г.). Окончил ДГТУ (1999).
Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов формирования свойств композиционных материалов, в том числе инструментальных покрытий, информационные технологии в технике.
Автор более 35 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов.

Гриценко Виктор Викторович (р. 1984), аспирант кафедры «Технология конструкционных материалов». Окончил ДГТУ в 2006 г по специальности «Сертификация и стандартизация».
Научные интересы: общая технология порошковой металлургии, моделирование процессов, формирование свойств композиционных материалов, информационные технологии в технике, сертификация порошковой продукции.
Автор более 20 научных публикаций, в том числе за рубежом.

Жмайлов Борис Борисович (р. 1971 г.), доцент кафедры «Техническое регулирование» ДГТУ, кандидат технических наук. Окончил ДГТУ (1993) по специальности ««Сварочное производство».
Научные интересы: информационные технологии в технике, создание информационно-аналитических систем, технология композиционных материалов для машиностроения и электротехники, общая технология порошковой металлургии, моделирование технологических процессов.
Автор более 65 печатных работ, в том числе в международных изданиях конференций и симпозиумов, открытых сайтах WWW, реферируемых журналах.
Лауреат конкурса компьютерных программ на платформе Java фирмы «Sun Microsystems».

ЛЮЛЬКО Валерий Григорьевич (р.1951), доктор технических наук, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов ДГТУ, академик международной академии проблем качества (1999). Окончил ДГТУ-РИСХМ (1973) по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты».
Научные интересы – порошковая металлургия и композиционные материалы.
Автор более 320 научных и методических работ, 13 авторских свидетельств и патентов.

УДК 004.65

НГО ТХАНЬ ХУНГ

МЕТОД ВЕРТИКАЛЬНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ОТНОШЕНИЙ РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

В статье представлена целевая функция для вертикальной кластеризации отношений в системах баз данных, построенная на основе нового оценочного критерия - вероятности кэш-попадания. Испытание полученной оценочной формулы с помощью программного моделирования показывает ее высокую точность. Кроме того, описан эвристический алгоритм, аппроксимирующий решение поиска наилучшей схемы кластеризации.

Ключевые слова: *вертикальная кластеризация отношений, целевая функция, оценочный критерий, вероятность кэш-попадания, эвристический алгоритм.*

Введение. Под вертикальной кластеризацией некоторого отношения мы понимаем декомпозицию без потерь его на два или более отношений, которые содержат непересекающиеся, за исключением ключевых атрибутов, подмножества атрибутов исходного отношения. В случае, если некоторое подмножество атрибутов чаше используются в запросах, чем подмножество остальных атрибутов, то эта техника может в среднем уменьшить объем данных, которые должны быть обработаны при заданном множестве запросов. В результате кластеризация приводит к повышению производительности кэш-системы в отдельности и всей системы в целом.

Как указано в [1], многие алгоритмы кластеризации были разработаны на основе статистической и образной классификации и анализа. Они группируют данные, используя различные критерии. Наиболее часто используемым критерием является квадратическая ошибка. Недостаток этих алгоритмов заключается в их трудоемкости и малоэффективности. Кроме того, их оценочные критерии не связаны ни с каким показателем системного исполнения, что вызывает некоторое недоверие к полученному результату. В [2] авторы разработали комплексный метод, в котором сначала выбираются потенциальные схемы кластеризации (варианты декомпозиции отношения). Затем эти схемы анализируются устройством оптимизации, построенным в данной системе управления базами данных (СУБД). После чего выбирается наилучшая схема для проведения кластеризации. Этот метод представляет большой интерес, но он слишком сложен для реализации. Кроме того, реализация устройства оптимизации существенно зависит от текущей настройки СУБД и от самого алгоритма оптимизации.

Постановка задачи. Принимая во внимание то, что существует тесная связь между кластеризацией и производительностью кэш-системы, необходимо сформулировать оценочный критерий для вертикальной кластеризации отношений вероятности кэш-попадания и разработать эффективный алгоритм поиска оптимальной схемы декомпозиции по этому критерию. Как и в большинстве алгоритмов в этой области, рассмотренных в [1], в качестве входных данных принимается матрица вероятностей использования атрибутов (Attribute Usage Matrix). Дополнительными входными данными

являются длины атрибутов (в байтах). Как и в [2], в данной работе мы будем считать, что число проекций декомпозиции равно двум, и обе они расположены в одной и той же табличной области.

Спецификации кэш-системы и системы баз данных. Рассматриваем некоторую базу данных (БД), отношения которой уже находятся в 5-й форме нормализации (5НФ) [3]. Пусть R – некоторое отношение, A – множество его атрибутов, $K \subset A$ - единственный потенциальный ключ, который является первичным ключом. Пусть $A \setminus K \neq \varnothing$ и, следовательно, отношение не является полностью ключевым.

Допустим, что каждый запрос использует подмножество атрибутов некоторого кортежа, определяемого его номер в таблице соответствующего отношения. Это означает, что запрос – последовательность трех операций: выбор отношения, выбор подмножества атрибутов и выбор кортежа. Поэтому запрос может быть определен как тройка (R, Δ, ID), где R - некоторое отношение, Δ - подмножество запрошенных атрибутов, ID - номер кортежа. Допустим, что выбор кортежей не зависит от выбора отношения, от выбора подмножества атрибутов и подчиняется равномерному закону. Пусть имеется Q различных запросов к базе данных. Статистическая информация о вероятностях их выполнения описывается значениями

$$p_1, p_2, \ldots, p_Q,$$

где p_i - вероятность вызова запроса q_i;

$$p_1 + p_2 + \ldots + p_Q = 1, \quad 0 \le p_i \le 1, \quad 1 \le i \le Q.$$

Относительно рассматриваемого отношения вероятности использования атрибутов описаны в табл.1, где величина u_{ij} принимает значение p_i, если запрос q_i требует атрибут a_j, и ноль, в противном случае.

Таблица 1

Матрица вероятностей использования атрибутов

Запросы \ Атрибуты	a_1	a_2	…	a_M
q_1	u_{11}	u_{12}	…	u_{1M}
q_2	u_{21}	u_{22}	…	u_{2M}
…	…	…	…	…
q_Q	u_{Q1}	u_{Q2}	…	u_{QM}

Пусть размер кэш-памяти для данного отношения ограничен длиной *L* байтов. Запись и чтение из кэша выполняются по кортежам. Кортеж загружается в кэш целиком, если, по крайней мере, один из его атрибутов востребован. В начале работы кэш-память пуста. Во время работы она заполняется кортежами. Для текущего запроса, если копия требуемого кортежа присутствует в кэше, тогда обращение к внешней памяти не происхо-

дит. В противном случае кортеж извлекается с диска, и его копия размещается в часть кэш-памяти, выделенная для данного отношения (если кэш-память не выделяется для данного отношения, то ее кортежи не будут кэшироваться вообще). В первом случае, мы говорим, что было кэш-попадание, а во втором – кэш-промах. После того как кэш-память заполняется, новый кортеж должен вытеснить один из имеющихся в нем кортежей. Так как период, пока кэш-память не заполнена, является переходным, то целевую функцию построим без учета этого периода. Будем считать, что стратегия замены, реализуемая в данной СУБД, является рандомизацией, т.е. выбор позиции, где хранится замещаемый при очередном промахе кортеж, подчиняется равномерному закону распределения вероятностей.

Описанные предположения сделаны в результате дедуктивного анализа литературы [1], [2], [3], [4]. Заметим, что эти предположения, за исключением сведения о вероятностях использования атрибутов, сформулированы только с целью математических выводов и испытания достоверности предполагаемого оценочного критерия, а не для требования к области его применения.

Метод реализации вертикальной кластеризации отношений. Рассмотрим вертикальную кластеризацию отношения R на два отношения R_1 и R_2. Обозначим множества атрибутов этих отношений A, A_1, A_2 соответственно. Кластеризация реализуется так, что верны следующие соотношения:

$$A_1 \cup A_2 = A,\ A_1 \cap A_2 = K,\ \ |A_1| > |K|. \qquad (1)$$

Используя метод имитации вертикальной кластеризации, создадим для отношений R_1 и R_2 постоянные таблицы T_1 и T_2 соответственно. При этом номера кортежей таблицы *T* сохраняются для соответствующих кортежей подтаблиц T_1, T_2. Запросы, обращающиеся к исходному отношению R, будут переписаны, чтобы реализовать обращения к отношениям R_1 и R_2. Если допустить, что любой запрос содержит, по крайней мере, один из неключевых атрибутов, тогда некоторый исходный запрос (R, Δ, ID) заменяется только по одному из трех вариантов:

1) одним запросом к отношению R_1, (R_1, Δ, ID), если все атрибуты исходного запроса присутствуют в A_1, т.е. $(\Delta \subset A_1)$;

2) одним запросом к отношению R_2, (R_2, Δ, ID), если все атрибуты исходного запроса присутствуют в A_2, т.е. $(\Delta \subset A_2)$;

3) двумя запросами $(R_1, \Delta \cap A_1, ID)$ и $(R_2, \Delta \cap (A_2 \setminus K), ID)$ одновременно в тех случаях, когда не ключевые атрибуты подмножества Δ частично присутствуют и в A_1, и в A_2, т.е. $((\Delta_j \cap A_1) \neq \varnothing) \wedge ((\Delta_j \cap A_2) \not\subset K)$.

Кэш-память, отводимая для кэширования R, теперь разделена на две части для кэширования отношений R_1 и R_2. Размеры этих частей являются параметрами кластеризации.

Вывод оценочного критерия. Для получения критерия, который оценивает вероятность кэш-попадания для кэширования исходного отношения и его проекций, ведём следующие обозначения:

$U = \{u_{ij}\}$ – матрица вероятностей использования атрибутов отношения R;

N – число кортежей отношений R, R_1, R_2;

M – число атрибутов отношения R;

p_i – вероятность того, что к СУБД обращается *i*-й запрос, $i = 1,2,\ldots,Q$;

$\Delta_i \subset A$ – подмножества атрибутов, которые востребованы *i*-ым запросом;

l_j – длина *j*-го атрибута отношения R, $j = 1,2,\ldots,M$;

l_R, l_{R1}, l_{R2} – длины кортежей соответствующих отношений R, R_1, R_2;

L_R, L_{R1}, L_{R2} – размеры частей кэш-памяти, отведенных для кэширования отношений R, R_1, R_2, где $L_{R1} + L_{R2} = L_R$;

N_R, N_{R1}, N_{R2} – количества позиций кэш-памяти, где хранятся кортежи соответствующих отношений R, R_1, R_2;

оператор $[\ ]$ – оператор получения целой части вещественного числа.

Вероятность кэш–попадания для кэширования исходного отношения. Обращение к кэш-памяти будет успешным (кэш-попадание) только в том случае, если востребованный кортеж является одним из N_R кортежей, копия которых уже присутствуют в кэше. Так как выборы кортежей подчиняются равномерному закону и не зависят друг от друга, то вероятность кэш-попадания одна и та же для каждого запроса и равна:

$$P_R = \frac{N_R}{N}, \tag{2}$$

где $N_R = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_R}{l_R}\right]\right) = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_R}{\sum\limits_{\forall j: a_j \in A} l_j}\right]\right)$.

Вероятность кэш-попадания для кэширования проекций-отношений. Обозначим случаи, когда исходный запрос заменен по первому, второму, третьему вариантам событиями C, C_1, C_2 соответственно;

случай, когда поиск исходного требуемого кортежа в кэше завершается успешно событием B. Согласно формуле полной вероятности вероятность кэш-попадания оценивается как:

$$P_{R_1R_2} = \sum_{v=1}^{3}\left(p\left(B / C_v\right)\cdot p\left(C_v\right)\right). \quad (3)$$

Для v=1 исходный запрос $\left(R, \Delta, ID\right)$ заменяется запросом $\left(R_1, \Delta, ID\right)$. Поэтому поиск кортежа, определяемого двойкой $\left(R, ID\right)$, завершится успешно тогда и только тогда, когда поиск кортежа, определяемого двойкой $\left(R_1, ID\right)$, завершится успешно. Аналогично случаю, рассмотренному в (2), имеем следующее выражение:

$$p\left(B / C_1\right) = \frac{N_{R1}}{N}, \quad (4)$$

где $N_{R1} = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_{R1}}{l_{R1}}\right]\right) = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_{R1}}{\sum\limits_{\forall j: a_j \in A_1} l_j}\right]\right)$.

Из условия замены исходного запроса очевидно следующее выражение:

$$p\left(C_1\right) = \sum_{\forall i: \Delta_i \subset A_1} p_i \,. \quad (5)$$

Для v = 2, аналогично предыдущему обсуждению, получим:

$$p\left(B / C_2\right) = \frac{N_{R2}}{N}, \quad (6)$$

где $N_{R2} = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_{R2}}{l_{R2}}\right]\right) = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_{R2}}{\sum\limits_{\forall j: a_j \in A_2} l_j}\right]\right)$;

$$p\left(C_2\right) = \sum_{\forall i: \Delta_i \subset A_2} p_i \,. \quad (7)$$

В случае $v = 3$ исходный запрос $\left(R, \Delta, ID\right)$ заменяется двумя запросами $\left(R_1, \Delta \cap A_1, ID\right)$ и $\left(R_2, \Delta \cap \left(A_2 \setminus K\right), ID\right)$ одновременно, и поиск кортежа $\left(R, ID\right)$ завершится успешно тогда и только тогда, когда оба поиска кортежей $\left(R_1, ID\right)$ и $\left(R_2, ID\right)$ завершатся успешно одновременно. Таким образом, верно следующее:

$$p\left(B / C_3\right) = p\left(B_{R1}\right)\cdot p\left(B_{R2}\right) = \frac{N_{R1}}{N}\cdot\frac{N_{R2}}{N};$$

$$p\left(B / C_3\right) = \frac{N_{R1} \cdot N_{R2}}{N^2}. \quad (8)$$

Из свойства полной группы вероятность наступления события C_3 вычисляется как:

$$p\left(C_3\right) = 1 - p\left(C_1\right) - p\left(C_2\right). \quad (9)$$

В итоге вероятность кэш-попадания в случае кэширования проекций-отношений выглядит следующим образом:

$$P_{R_1R_2} = \frac{N_{R1}}{N} \cdot p\left(C_1\right) + \frac{N_{R2}}{N} \cdot p\left(C2\right) + \frac{N_{R1} \cdot N_{R2}}{N^2} \cdot p\left(C_3\right). \quad (10)$$

Обозначим:

$$a = \frac{p\left(C_1\right)}{N}; \quad b = \frac{p\left(C_2\right)}{N}; \quad c = \frac{p\left(C_3\right)}{N^2}.$$

Формулу (9) можно переписать следующим образом:

$$P_{R_1R_2} = a \cdot N_{R1} + b \cdot N_{R2} + c \cdot N_{R1} \cdot N_{R2}. \quad (11)$$

Целевая функция для поиска наилучшей схемы кластеризации отношений. Для проведения кластеризации необходимо решить следующую задачу (будем называть задачей (*)):

Пусть даны: множество атрибутов A, количество кортежей N, матрица U, длины атрибутов l_j и размер кэш-памяти L_R.

Найти наилучшую схему для проведения кластеризации данного отношения.

Любая схема кластеризации полностью идентифицируется четырьмя параметрами A_1, A_2, N_{R1}, N_{R2}. Качество схем будем оценивать формулой (11). Чем больше значение оценочного критерия (11), тем выше производительность кэш-системы. Поэтому наилучшая схема кластеризации является решением задачи дискретного программирования (в дальнейшем будем называть ее задачей (**)):

$$\mathbf{P}\left(A_1, A_2, N_{R1}, N_{R2}\right) = a \cdot N_{R1} + b \cdot N_{R2} + c \cdot N_{R1} \cdot N_{R2} \rightarrow \max. \quad (12)$$

С ограничениями:

$$A_1 \cup A_2 = A,\ A_1 \cap A_2 = K,\ \left|A_1\right| > \left|K\right|; \quad (13)$$

$$N_{R1} \cdot l_{R1} + N_{R2} \cdot l_{R2} \le L_R; \quad (14)$$

$$N_{R1} \ge 0,\ N_{R2} \ge 0; \quad (15)$$

$$N_{R1},\ N_{R2} \text{ – целые.} \quad (16)$$

Так как предлагаемый оценочный критерий не трудоемок для вычисления, задача (**) может быть решена с помощью алгоритма полного перебора для входных данных с небольшой размерностью. При больших значениях величины M и интервалов варьирования N_{R1}, N_{R2} необходимо разработать более эффективный алгоритм.

Алгоритм поиска наилучшей схемы полным перебором. Задачу дискретного программирования (**) можно решить методом полного

перебора [5]. Сначала перебираем все допустимые пары (A_1, A_2) по условию (13), потом для каждого из найденных вариантов перебираем все допустимые пары (N_{R1}, N_{R2}) по условиям (14), (15) и (16). Заметим, что при фиксации значения A_1, что следует из условия (13), значение A_2 автоматически фиксируется. По (13) имеем $\left(2^{M-|K|}-1\right)$ допустимых пар значений (A_1, A_2). При фиксации значения N_{R1}, значение N_{R2}, которое обеспечивает максимум целевой функции (12), должно быть определено выражением

$$N_{R2} = \mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_R - N_{R1} l_{R1}}{l_{R2}}\right]\right).$$

Значит после фиксации пары (A_1, A_2) имеем $\left(\mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_R}{l_{R1}}\right]\right)+1\right)$ допустимых пар (N_{R1}, N_{R2}), потенциально обеспечивающих максимум (4). Таким образом, алгоритм полного перебора должен реализовать не менее $\left(2^{M-|K|}-1\right)\cdot\left(\mathbf{min}\left(N, \left[\frac{L_R}{l_R}\right]\right)+1\right)$ вычислений формулы (12).

Например, рассмотрим отношение R с шестью атрибутами, где a_1 - ключевой атрибут. Длины атрибутов - 30, 37, 51, 21, 46, 11 (байт). Матрица вероятностей использования атрибутов (табл.2).

Таблица 2

Пример матрицы вероятностей использования атрибутов

Атрибуты / Запросы	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
q_1	.194	0	.194	.194	0	.194
q_2	.089	.089	0	0	0	.089
q_3	.281	.281	0	0	.281	0
q_4	.157	.157	0	0	.157	.157
q_5	.279	0	0	0	.279	.279

Размер кэш-памяти, выделенной для данного отношения, равен 2000 (байт). Число кортежей равно 200.

Для этого примера наилучшая схема кластеров:

$$A_1 = \{a_1, a_2, a_5, a_6\}, \quad A_2 = \{a_1, a_3, a_4\},\ N_{R1} = 16,\ N_{R2} = 0.$$

С этой схемой вероятность кэш-попадания, рассчитанная по формуле (12), равна 0.06448, и она возросла на 1.29 (раз) относительно слу-

чаю без кластеризации, вероятность кэш-попадания при котором равна 0.05.

Программное моделирование предложенного метода кластеризации. Испытание достоверности предлагаемого оценочного критерия было выполнено с помощью программного моделирования. Данное программное средство реализовано на Delphi и предоставляет следующие возможности:

- генерировать случайные длины атрибутов рассматриваемого отношения и матрицу вероятностей их использования;
- решить задачу (**) полным перебором;
- генерировать случайные потоки запросов, соответствующие генерированной матрице вероятностей использования атрибутов;
- моделировать работу кэш-системы с возможностью выбора той или иной стратегии замещения (было реализовано 4 стратегий: рандомизация, Clock, LRU и LFU [6]);
- моделировать системы кластеризации отношений, как описано выше;
- вычислить средние значения экспериментальных кэш-попаданий и их дисперсию.

Для каждого набора входных данных для задачи (*) производили поиск наилучшей схемы алгоритмом полного перебора. Статистическим моделированием были получены производительности кэш-системы при 1000 потоках запросов, длина каждого потока равна 5000 запросов. Во всех этих случаях относительная ошибка экспериментального среднего от теоретического значения по формуле (13) составила менее 2.5%. При моделировании других стратегий был получен аналогичный результат.

Эвристический алгоритм, аппроксимирующий решения задачи (**). Исследуя свойства решений задачи (**), полученных алгоритмом полного перебора, было замечено, что почти во всех случаях либо $N_{R1} = \min\left(N, \left[\frac{L_R}{l_{R1}}\right]\right)$, либо $K_2 = \min\left(N, \left[\frac{L_R}{l_{R2}}\right]\right)$, т.е. почти вся часть кэш-памяти, отведенная для исходного отношения, передается на кэширование только одной из проекций-отношений. Из данного факта мы предполагаем кэшировать только отношение R_1 из схемы кластеризации, а другое отношение совсем не кэшируем. Таким образом, будем аппроксимировать решение задачи (**) решением задачи (***):

$$\mathrm{P}\left(A_1, A_2, N_{R1}, N_{R2}\right) = a \cdot N_{R1} = \sum_{\forall i: \Delta_i \subset A_1} \mathrm{p}_i \cdot \left[\frac{L_{R1}}{\sum_{\forall j: a_j \in A_1} l_j}\right] \to \max. \quad (17)$$

С ограничениями:

$$A_1 \cup A_2 = A,\ A_1 \cap A_2 = K,\ \left|A_1\right| > \left|K\right|; \quad (18)$$

$$N_{R1} = \min\left(N, \left[\frac{L_R}{l_{R1}}\right]\right); \quad (19)$$

$$N_{R2} = 0 . \qquad (20)$$

Эвристический алгоритм находит множество A_1 путём последовательного отбора его атрибутов. Вначале $A_1 = A$. На каждой итерации будет удален из подмножества A_1 атрибут $a_j \notin K$ с длиной l_j, оценка принадлежности к подмножеству A_1 которого принимает наименьшее значение. Эта оценка вычисляется по формуле:

$$PU_j = \sum_{\forall i: a_j \in \Delta_i} p_i \Big/ l_j \qquad \left(1 \le i \le Q, 1 \le j \le M\right). \qquad (21)$$

После удаления атрибута a_j будут обнуляться все элементы *i*-й строки матрицы U, где $u_{ij} > 0$. На данной же итерации из множества A_1 удаляются также все атрибуты $a_r \in A_1$ $\left(a_r \notin K\right)$, где $\sum_{\forall i: a_r \in \Delta_i} p_i = 0$. Полученное при данной итерации разбиение $\left(A_1, \left(A \setminus A_1\right) \cup K\right)$ является одним из интересуемых вариантов разбиения. Итерационный процесс повторяется до тех пор, пока $\left|A_1\right| > \left|K\right|$. Вычисляется оценочный критерий (17) для разбиения $\left(A, K\right)$ и для всех разбиений, полученных во всех итерациях. Наилучшая схема разбиения из них является решением задачи (***).

Таким образом, данный алгоритм реализует не более $\left(\left|A\right| - \left|K\right| + 1\right)$ итераций, поэтому он во много раз эффективнее, чем алгоритм полного перебора.

Для анализа эффективности эвристического алгоритма к разработанному программному средству был добавлен модуль, который его реализует. С помощью полученной программы было произведено 5000 экспериментов. В каждом эксперименте были сгенерированы входные данные задачи (*). Затем решена задача (*) с помощью алгоритма полного перебора и эвристического алгоритма. Анализ результатов показывает, что эвристический алгоритм даёт одну и ту же схему кластеризации, что и алгоритм полного перебора в более чем 90% экспериментов. Для класса эвристических алгоритмов [7] такой процент совпадений решений, на наш взгляд, является достаточно приемлемым.

Выводы. В данной работе получена целевая функция для вертикальной кластеризации с новым оценочным критерием – вероятность кэш-попадания, а также выполнено испытание достоверности полученной формулы с помощью программного моделирования. Ее простота и высокая точность подтверждают перспективность предложенного метода вертикальной кластеризации отношений при проектировании и реконструкции баз данных с целью повышения системной производительности. Кроме того, разработан эвристический алгоритм, аппроксимирующий решение задачи поиска наилучшей схемы кластеризации. Его эффективность и точность позволяют существенно сократить время проведения кластеризации.

Библиографический список

1. Sharma Chakravarthy, Jaykumar Muthuraj, Ravi Varadarajan, Shamkant B. Navathe. An Objective Function for Vertically Partitioning Relations in Distributed Databases and its Analysis. In *Distributed and Parallel Databases* 2(2): 183-207(1994).

2. Sanjay Agrawal, Vivek Narasayya, Beverly Yang. Integrating Vertical and Horizontal Partitioning into Automated Physical Database Design. In SIGMOD 2004, June, 2004.

3. К. Дж. Дейт. Введение в системы баз данных. 7-е издание /К.Дж.Дейт. – М., СПб, Киев: Вильямс, 2001.

4. Вильям Пэйдж, Дэвид Остин, Виллард Берд II, Николас Чейз и др. Специальное издание: Использование Oracle8/8I. Вильямс, 2000.

5. Ковалев М.М. Дискретная оптимизация – Целочисленное программирование /М.М.Ковалев.– М.: УРСС, 2003.

6. Таненбаум Э. Современные операционные системы /Э.Таненбаум. – СПб: Питер, 2004.

7. Natallia Kokash. An introduction to heuristic algorithms. 2005**//** http://dit.unitn.it/~kokash/documents/Heuristic_algorithms.pdf

Материал поступил в редакцию 1.08.08.

NGO THANH HUNG

VERTICAL PARTITIONING RELATIONS METHOD IN RELATIONAL DATABASE

In this paper we introduce a new objective function for vertical partitioning relations in relational databases. It has been built with the new evaluative criterion: cache hit probability. Also present heuristic algorithm for finding the optimal partitioning schema.

Index terms: vertical partitioning, objective function, evaluation criterion, cache hit probability, heuristic algorithm.

НГО Тхань Хунг (р. 1980), аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» ДГТУ по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» (2005-2008). Окончил ДГТУ (2005) по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем».

Научные интересы: методы повышения производительности кэш-систем и систем управления распределенными базами данных.

Автор 7 научных работ.

УДК 004.416.6

Ю.А. МАРИНЧЕНКО, А.Н. ЛИТВИНЕНКО

ОДНОРОДНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В данной статье вводится понятие однородных конструкций, которые реализуют принципы порождающего и расширяемого программирования. Однородные конструкции рассматриваются как конфигурационный ориентир программного проекта, определяющий направление процесса модуляризации и структурирования приложения. Описан ряд примеров однородных конструкций. Проанализировано место понятия однородных конструкций среди парадигм программирования, показаны достоинства использования однородных конструкций.

Ключевые слова: *однородные конструкции, инженерия предметной области, порождающее программирование, расширяемое программирование.*

Введение. Общепризнанно, что сопровождение и модернизация программных продуктов являются наиболее важными и ресурсоемкими этапами жизненного цикла приложения. Ключевым моментом для успешного сопровождения приложения является способ выделения частей программного кода, принципы и методы выделения модулей системы. Иными словами, это те конфигурационные ориентиры, которые используются при создании программного продукта. Так, выделение объектов в объектно-ориентированном программировании [2] – это один конфигурационный ориентир, выделение аспектов в аспектно-ориентированном программировании [1] – другой конфигурационный ориентир, вертикальные и горизонтальные слои Фуксмана [3] – третий конфигурационный ориентир. Однородные конструкции – это также один из конфигурационных ориентиров.

Постановка задачи. Требуется определить и разработать методику, которая, с одной стороны, позволяет организовывать модули приложения таким образом, что добавление новой функциональности или изменение существующей функциональности не затрагивает отлаженный программный код. Следовательно, применение подобной методики позволяет безболезненно изменять функциональность приложения с сохранением его работоспособности. С другой стороны, методика организации модулей представляет собой в простейшем случае некоторый параметризованный интерпретатор или параметризованный генератор исходного кода при более сложной реализации. Данная методика направлена на создание не конкретного программного средства, а серии настраиваемых программных средств. В данном случае разработка программного средства сводится к формированию высокоуровневой спецификации всего приложения или некоторых модулей приложения, по которой производится генерация программного кода приложения.

Методы испытаний. Для выполнения поставленной задачи использовались методы модульного и структурного анализа программных средств. Широкое применение получили методы инженерии предметной области, а именно: сбор, систематизация и сохранение наработанного опыта создания систем или частей систем в форме средств многократного применения. Ак-

тивно использовались методы программной инженерии – методы автоматизации жизненного цикла программного продукта, технологические методы разработки и тестирования сложных программных средств.

Понятие однородных конструкций. М.М. Горбунов-Посадов в своих трудах [6] выдвинул идею о прямой связи между расширяемостью и однородностью, т.е. в случае реализации однородного набора приложения специальным образом можно достичь расширяемости приложения, что, по его мнению, является ключом к развитию программы. Основываясь на сформулированных М.М. Горбуновым-Посадовым идеях [5], предложено точное определение и выработана структура однородных конструкций, представлены несколько примеров использования данной методики. Эти примеры протестированы и используются в приложениях, работающих в промышленном режиме.

Однородные конструкции являются способом организации модулей, реализующих некоторые однородные части программы. Данная методика реализует принципы порождающего [4] и расширяемого [5] программирования.

Под однородными конструкциями понимают набор однотипных элементов, имеющих одинаковые методы обработки. Элементы могут обладать достаточно сложной структурой. Однородная конструкция характеризуется репозиторием, процедурами обработки однородных конструкций и инструментом редактирования репозитория (рис.1).

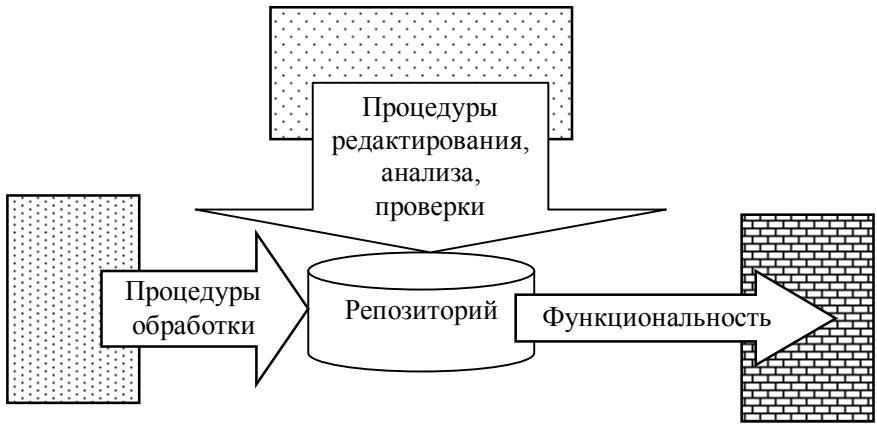


Рис.1. Структура однородных конструкций

Примеры однородных конструкций. Перед обзором примеров однородных пространств определим понятие "грид", которое является распространенным элементом любого приложения.

Грид (Grid) - это элемент пользовательского графического интерфейса, который отображает табличное представление данных и предоставляет следующую стандартную функциональность – редактирование данных в каждой ячейке, удаление и добавление строк.

Технология *PlugIn-модулей* является однородным пространством, где репозиторием однородного пространства служит определенная дирек-

тория, в которой расположены модули. Процедура обработки хранилища может запускаться при входе в приложение, по таймеру или в любой другой точке приложения. После запуска процедуры обработки репозитория появляется функциональность PlugIn-модулей в соответствующих точках приложения. Для добавления новой функциональности в виде PlugIn-модуля достаточно просто поместить файл определенной структуры в PlugIn-директорию. Для устранения функциональности модуля достаточно убрать PlugIn-модуль из директории.

Отчетные формы. Все отчеты приложения удобно рассматривать как однородное пространство, в котором хранилище представлено dbf-файлом. При удалении какого-либо элемента однородного пространства из хранилища вся функциональность, соответствующая данному элементу, автоматически исчезает из приложения. В частности, если нужно изменить функциональность отчета, то редактирование затрагивает только файл исходного кода, содержащий процедуру формирования отчета, при этом ядро приложения остается неизменным. Добавление, удаление элементов однородного пространства можно реализовать, используя технологию PlugIn-модулей, где один отчет является PlugIn-модулем, который содержит процедуры формирования отчета, а также процедуру регистрации последнего в системе. Регистрация PlugIn-отчета заключается в добавлении или изменении соответствующего элемента в репозитории отчетов. Отчет может характеризоваться не только процедурами формирования отчета, но и шаблоном отчета, представленном, например, в формате rpt, rtf или xls. Для того чтобы добавить новый отчет в приложение, нужно занести всю необходимую информацию в репозиторий отчетов. Добавление нового элемента однородного пространства в репозиторий отчетов с использованием PlugIn-технологии сводится к размещению файлов шаблона и процедур регистрации и формирования отчета в соответствующие директории. Добавление нового элемента однородного пространства без использования технологии PlugIn-модулей осуществляется добавлением нового элемента непосредственно в хранилище отчетов, при это нужно помнить и о возможном шаблоне отчета, который следует поместить в соответствующую директорию.

Типовые операции для грида. Рассмотрим однородное пространство типовых операций для грида. Типовые операции подразделяются на стандартные (количество строк, сумма по столбцу, поиск значения и т.д.) и нестандартные, которые применимы для конкретных гридов, например, для конкретной строки грида "Заказы" вывести на экран форму заказа. Добавление, удаление типовых операций производится путем вставки, удаления элемента однородного пространства из репозитория. Модификация функциональности любого элемента осуществляется также в хранилище и не затрагивает исходный код ядра приложения. Каждая типовая операция характеризуется условием допустимости, при помощи которого можно указать грид или набор гридов, где используется функциональность типовой операции, или наоборот, определить грид или набор гридов, для которых типовая операция не действует.

В итоге, разработав один раз процедуры обработки репозитория типовых операция для грида, последующее добавление и удаление операций сводится к редактированию хранилища однородного пространства. Среди процедур обработки репозитория выделим процедуру выбора допустимых операций для грида в контекстное меню, процедуру запуска конкретной операции. Реализация типовых операций без использования однородных пространств заключается в определении контекстного меню для каждого грида приложения. А количество гридов в серьезном приложении очень велико, более того, контекстные меню различных гридов не совпадают. При такой реализации значительно затрудняется процесс сопровождения. Предположим, что необходимо добавить новую операцию во все гриды приложения. В случае однородных пространств это делается элементарно: добавляем в репозиторий пространства новый элемент с условием допустимости "ИСТИНА". В реализации без использования однородных пространств нужно внести изменения в контекстное меню всех гридов, при этом ни один не забыть. Использование последнего способа реализации типовых операций повышает вероятность появления ошибки, значительно затрудняет процесс внесения изменений. Изменения рассредоточены по исходному коду приложения и носят один и тот же характер.

Состав однородных конструкций. Следует обратить особое внимание на то, что однородные конструкции, принадлежащие одному набору, должны иметь одинаковую структуру, которая определяет *репозиторий рассматриваемого набора однородных конструкций.* Следовательно, важным этапом реализации наборов однородных конструкций является определение структуры однородных пространств, а именно определение типа и атрибутов хранилищ однородных конструкций в зависимости от рода решаемых задач и возможностей среды разработки. Хранилище является обязательным составляющим однородных конструкций.

Выделим следующие способы организации репозитория однородных конструкций: текстовый файл; файл разметки XML; DBF-файл. Каждый из способов организации репозитория однородных конструкций имеет свои преимущества и недостатки.

XML-файл более предпочтителен в качестве репозитория однородных конструкций в силу того, что хранилище подобного типа может вместить в себя данные со сколь угодно сложной структурой (рис.2). В XML-репозитории не существует ограничений на типы атрибутов в отличие от DBF-хранилища. Например, изображенный ниже элемент однородной конструкции достаточно трудно было бы реализовать в DBF-файле, так как типы атрибутов DBF-хранилища должны быть простыми.

```
<reports>
  <repgroup id="7" cname="Продажи">
        <entry rep1_id="1" repname="Продажа" sit="rep" ord="2.0000">
                        <cprg>DO repprdg WITH [r] IN _repprdg</cprg>
                        <uslov/>
                        <prim/>
        </entry>
  </repgroup>
</reports>
```

Рис.2. Пример элемента однородной конструкции сложной структуры

Ещё одним преимуществом использования XML-файлов является то, что для редактирования этого файла не требуется никакого дополнительного инструментария, кроме обычного редактора текстовых файлов. Для изменения элементов DBF-хранилища необходимо наличие некоторого программного обеспечения, позволяющее удалять, добавлять, модифицировать DBF-файл. Предоставляется поддержка проверки корректности XML-файла путем использования XSD-схем.

Как уже отмечалось ранее, для каждого набора однородных конструкций необходимо разработать универсальные *процедуры обработки элементов однородного пространства*, которые, по определению, должны быть инвариантны относительно мощности однородного пространства.

Предполагается, что процедуры обработки набора однородных конструкций реализуют функцию интеграции ядра приложения с элементами однородного пространства, т.е. выступают некоторым параметризованным интерпретатором или генератором частей исходного кода [4] в сложном случае. Параметры берутся из репозитория однородных конструкций.

Следовательно, ядро приложения и однородные конструкции находятся в отношении слабосвязанности и взаимозависимости одновременно. Проявление взаимозависимости очевидно, так как ядро приложения предоставляет пользователю функциональность однородных пространств, процедуры однородного пространства, в свою очередь, считывают данные объектов приложения, используют параметры, переданные приложением на вход процедурам однородного пространства. Слабосвязанность характеризует способ взаимосвязи между ядром приложения и однородным пространством, метод переплетения ядра и процедур однородных конструкций. Слабосвязанность можно определить как характеристику интеграции модулей приложения. Подобная интеграция позволяет безболезненно вносить изменения в приложения таким образом, что модификации одного модуля не влияют на работоспособность другого модуля в силу высокой степени инкапсуляции функциональности модулей. Стандартным примером реализации отношения слабосвязанности и взаимозависимости являются PlugIn-модули, описанные выше.

Инструмент редактирования репозитория однородных конструкций является опциональным составляющим однородных конструкций. Данный инструментарий должен быть наделен функцией редактирования, анализа и проверки корректности элементов однородных конструкций при добавлении и изменении хранилища. Набор средств для редактирования, анализа и проверки корректности однородных конструкций может быть реализован программистом, а может входить в состав некоторых типов репозитория. В частности, в случае использования dbf-хранилища проверка корректности производится в соответствии со структурой и ограничениями данного типа хранилища независимо от наличия инструментария редактирования и анализа, созданного разработчиком, но такой тип хранилища и не исключает последнего.

Набор средств для редактирования и анализа репозитория может вызываться при разработке приложения (designtime), в любой точке в процессе работы приложения (runtime). Следует обратить особое внимание на вызов инструмента редактирования и анализа репозитория при входе в

программу. Данная точка вызова относится к точкам вызова в режиме runtime, но именно она наиболее часто используется в приложениях. Встречаются реализации набора средств для редактирования и анализа репозитория, когда инструментарий редактирования является частью приложения и доступен пользователю в любой момент времени работы приложения.

Место однородных конструкций в теории программирования. Проблематику аккумулирования опыта создания систем в некоторой предметной области, а также дальнейшего использования накопленного опыта рассматривает инженерия предметной области [4]. Инженерия предметной области (Domain Engineering) — это деятельность по сбору, систематизации и сохранению наработанного опыта создания систем или частей систем в форме средств многократного применения, т.е. повторно используемых рабочих средств в рамках определенной предметной области, а также по обеспечению методов для повторного использования этих средств, т.е. поиска, классификации, распространения, адаптации, сборки и т.д. в процессе создания новых систем.

Назначение методики однородных пространств является аккумулирование опыта разработки приложений, создание и использование при дальнейшей работе определенных элементов конфигурации приложения, а именно, конкретных однородных пространств. Следовательно, методика однородных пространств реализует принципы инженерии предметной области, где в роли предметной области выступает конфигурация приложения. Применение принципов инженерии предметной области качественно влияет на процессы программной инженерии, а именно, процесс разработки и сопровождения приложения.

Принципы инженерии предметной области активно используются в порождающем [4] и расширяемом [5] программировании. Основной упор в парадигме порождающего программирования [4] делается на приемах разработки серии настраиваемых приложений, а именно, на приемах генерации или интерпретации приложения из уже разработанных универсальных многократно используемых модулей, содержащих определенную функциональность, путем указания конфигурации приложения или конфигурации некоторой части приложения. Именно в этих универсальных модулях происходит накопление и использование аккумулированного опыта в конкретной предметной области.

Следует отметить, что изменения по характеру можно разделить на революционные, которые в корне меняют структуру проекта, и эволюционные, которые преобразуют или дополняют только некоторую часть проекта. Реализация эволюционных изменений составляет основную долю работы персонала по сопровождению приложения, т.е. эволюционные изменения являются точками роста программы.

Основной идеей расширяемого программирования [5] является идея организации и модуляризации приложения таким образом, чтобы дальнейшее развитие комплекса не требовало редактирования уже написанного программного кода. Вновь написанные части программы будут только дополнять исходные тексты приложения. Безболезненное сопровождение системы теоретически достигается путем использования следующих составляющих конфигурации проекта: каркасы, вариантные гнезда, наборные гнезда и т.д. Согласно М.М. Горбунову-Посадову [5] безболезненность изменений приложения достигается тем, что изменения не затра-

гивают уже отлаженный программный код приложения, а следовательно, не влияют на работоспособность приложения.

С одной стороны, методика однородных конструкций является прямым воплощением принципов расширяемого программирования [5], так как направлена на упрощение процесса сопровождения, когда добавление, изменение или устранение функциональности не требует редактирования исходного кода ядра приложения. В данной методике используется теория каркасов и гнезд.

С другой стороны, методика однородных пространств реализует принципы порождающего программирования [4] потому, что процедуры обработки репозитория однородных конструкций выступают в роли параметризованных интерпретаторов или генераторов фрагментов исходного кода приложения в более сложных случаях.

Особенности реализации однородных конструкций. Основная сложность реализации однородных конструкций заключается в разработке универсальнальной процедуры обработки конструкций, а именно, в выработке техники генерации исходного кода в соответствии с элементами однородного пространства. К этой задаче необходимо подойти очень серьезно, так как от эффективности использования данной техники зависит работа и дальнейшее развитие и работоспособность всего приложения.

Все описанные сложности связаны с тем, что реализация однородных конструкций является решением более общей задачи для программиста, чем разработка конкретной функциональности. Поэтому требуется затратить больше усилий на анализ и разработку хранилища и универсальной процедуры обработки элементов хранилища, которые бы позволили разместить любой набор элементов предметной области данного однородного пространства. Однако все затраченные усилия на разработку однородных конструкций в дальнейшем с лихвой окупаются.

Однородные конструкции являются воплощением основных принципов расширяемого [5] и порождающего [4] программирования, поскольку добавление очередного элемента однородного пространства сводится к занесению новой позиции в репозиторий однородного пространства, что не сопровождается изменением исполняемого кода приложения. Следовательно, в терминах порождающего программирования генератором некоторого программного кода приложения является модуль универсальной обработки однородных конструкций, а высокоуровневой спецификацией, по которой происходит генерация кода, служит хранилище однородных конструкций.

Модуль - выделенная по тем или иными мотивам часть первичного материала программного фонда [5]. Таким образом, учитывая принципы расширяемого программирования, определен новый конфигурационный ориентир [5], которым является однородное пространство. Использование однородной конструкции в качестве способа модуляризации программных средств позволяет свести процесс разработки к созданию хранилищ однородных пространств и процедур обработки последних. Далее строятся элементы однородного пространства, разрабатывается функциональность каждого элемента, что не влияет на работоспособность ядра приложения. Подобная модуляризация позволяет безболезненно дополнять и изменять функциональность приложения, легко локализовать ошибочный код после внесения изменений.

Примеры реализации однородных конструкций. Большинство приложений работают с данными независимо от специфики последнего, сле-

довательно, можно выделить такие неотъемлемые задачи приложения, как запрос и фильтрация данных, организация отчетности и выполнение некоторых типовых операций для грида. В связи с этим было выделено несколько классов однородных конструкций, которые подробно будут описаны далее.

Крайне полезно организовать *набор операций* для грида, а также предусмотреть возможность *добавления операций*, доступных при выполнении некоторых условий. Следовательно, можно определить однородное пространство наборов операций для грида, где элементом пространства является операция.

Для данного однородного пространства создан xml-репозиторий элементов пространства, имеющий следующие атрибуты: уникальный идентификатор, наименование, условие допустимости, строку запуска и приоритет операции (рис.3).

```
<myoper>
   <oper id="rep_ds" name="Отчет 'Продажи'" prior="1.00000">
                  <do>do repprdg with 'ds' in _repprdg</do>
                  <uslov>USED('rv_uz') AND USED('rv_uz1')</uslov>
                  <prim>D</prim>
   </oper>
</myoper>
```

Рис.3. Элемент однородного пространства операций для грида

С точки зрения приложения предоставлены следующие действия с типовыми операциями для грида: просмотр списка допустимых операций; выполнение конкретной операции грида.

Функция просмотра списка допустимых операций инициируется нажатием на правую кнопку мыши на гриде, тогда осуществляется поиск допустимых операций в репозитории типовых операций в соответствии с условием допустимости. Условие допустимости определяется логическим выражением, результат которого меняется в зависимости от переменных среды окружения в некоторой точке приложения. При этом происходит формирование контекстного меню, содержащего допустимые операции однородного пространства в соответствии с условием допустимости.

Функция выполнения конкретной операции по репозиторию определяет строку запуска данной операции и производит её исполнение.

Фильтрация записей – стандартная и распространенная операция, позволяющая пользователю выбирать нужные ему данные из всего объема данных. Пожалуй, нет таких приложений, в которых бы не использовались различные модули фильтрации. Для построения условия фильтрации необходимо указать поле грида, которое участвует в отборе, непосредственно условие фильтрации ("=","<",">","В СПИСКЕ","ПУСТО"), а также значение условия отбора, которое можно выбрать из списка представленных в гриде значений или задать независимо от списка значений.

Разработанный фильтр учитывает не только простые условия, налагаемые на поля грида, но также и достаточно сложные и нетривиальные условия фильтрации, использующие данные дочерних гридов.

Например, в приложении представлен грид "Заказы" и "Заказчики". Грид "Заказы" ссылается на грид "Заказчики". Предположим, что необходимо построить условие фильтрации, выбирающее заказы, имеющие в качестве заказчика индивидуального предпринимателя. Такое условие невозможно реализовать, используя простые условия фильтрации, поэтому сложные условия фильтрации рассмотрим отдельно.

Наборы упомянутых сложных условий фильтрации выбраны в качестве однородного пространства. Элементом однородного пространства является условие фильтрации или запроса, которое имеет следующие атрибуты: наименование, выражение допустимости, список возможных операций, применимых к условию, и соответствующие команды выполнения условия фильтрации. В качестве репозитория однородного пространства выбран xml-файл с достаточно простой разметкой, учитывающей все перечисленные атрибуты, но в данном случае структура хранилища не является плоской, так как некоторые атрибуты имеют достаточно сложное строение. Редактирование хранилища производится путем редактирования xml-файла.

Однородное пространство условий фильтрации/запроса предполагает определение следующих функций: просмотр допустимых условий фильтрации/запроса в данной точке приложения; просмотр возможных операций, применимых для конкретного условия; просмотр списка возможных значений для выбранного условия.

Функция просмотра допустимых условий фильтрации или запроса вызывается только программно модулем фильтрации или запроса данных при построении нового условия фильтрации. Данная функция производит поиск по репозиторию и выбор допустимых условий фильтрации в данной точке приложения, основываясь на выражении допустимости, которое принимает логическое значение в зависимости от переменных среды окружения. Зачастую выражение допустимости содержит проверку на принадлежность условия фильтрации экранной форме, гриду или некоторому набору гридов. Результатом выполнения функции просмотра допустимых условий фильтрации или запроса является список наименований условий, применимых в данной точке приложения.

Для одного условия фильтрации может быть определено несколько операций. Операции представляют собой как простые операции сравнения, так и более сложные операции, например, определение списка значений данного поля (Тип товара В СПИСКЕ ('Обувь','Стройматериалы','Оргтехника')). Функция просмотра возможных операций, применимых для условия фильтрации, осуществляет поиск по хранилищу и выбор определенных для данного условия операций. Функция просмотра списка возможных значений для конкретного условия фильтрации возвращает список результатов выполнения выбранной из репозитория команды.

Одной из важных задач приложения является *организация отчетности* различного рода. Разработка стандартного механизма для запуска и вывода отчета значительно повысит эффективность проектирования и сопровождения приложения.

Рассмотрим однородное пространство отчетов, где элементом пространства является отчет. Репозиторием однородного пространства выбран dbf-файл, содержащий информацию о следующих атрибутах: уникальный

идентификатор, наименование, строка запуска процедуры предварительной обработки, строка запуска отчета, а также условие допустимости.

С точки зрения приложения возможны следующие операции с отчетами: просмотр допустимых отчетов в текущей точке приложения, а также запуск конкретного отчета.

Просмотр списка допустимых отчетов может инициироваться выбором пункта меню, иконки на панели инструментов, нажатием на кнопку экранной формы или некоторой комбинацией "горячих" клавиш. Независимо от способа инициации выбора отчетов производится поиск отчетов в соответствии с условием допустимости, которое указано в репозитории однородного пространства и представляет собой логическое выражение. Результатом выполнения условия допустимости является истина или ложь в зависимости от значений переменных среды окружения в конкретной точке приложения.

Процедура запуска конкретного отчета в качестве входных параметров получает уникальный идентификатор отчета из хранилища однородных конструкций и способ вывода данных отчета, среди которых выделены вывод на принтер, в файл и на экран. По уникальному идентификатору происходит поиск отчета в репозитории, затем определяется необходимость запуска процедуры запроса данных для отчета. Потом происходит формирование и вывод выбранного отчета с учетом входных параметров и данных репозитория. В большинстве случаев для формирования отчета требуется шаблон, расположение которого также указывается в хранилище отчетов. Шаблоны могут быть разных типов, начиная с frx-отчета и заканчивая xls-шаблоном для вывода в Microsoft Office Excel.

Выводы. Понятие однородных конструкций имеет большое значение в процессе структурирования приложения. Применение данного понятия при разработке программного средства дает ряд преимуществ. Основным достоинством является простота добавления новой и изменения существующей функциональности, легкость локализации и устранения ошибок редактирования программного кода.

Наличие стандартной процедуры обработки однородных конструкций позволяет вносить изменения в функционал без модификации ядра приложения, что указывает на высокую степень открытости данного приложения.

Применение однородных конструкций воплощает в жизнь основные принципы инженерии предметной области [4]. В данных конкретных реализациях, рассмотренных выше, аккумулирование и использование опыта разработки приложение инвариантно относительно языка программирования, так как представленные типы хранилищ однородных конструкций (XML-файл, текстовый файл, DBF-файл) легко распознаются любым современным языком программирования. Конечно, для использования готовых однородных конструкций в любой другой среде разработки недостаточно просто хранилища, нужно будет адаптировать существующую или реализовать новую процедуру обработки элементов однородного пространства.

Использование однородных конструкций позволит значительно оптимизировать сопровождение приложения и упростит его модификацию.

Библиографический список

1. Kiczales G., Lamping J., Mendhekar A. Aspect-oriented programming // http://www.oberon2005.ru/paper/gk1997.pdf.
2. Фридман А.Л. Основы объектно-ориентированной разработки программных систем /А.Л.Фридман. – М.: Финансы и статистика, 2000. – С.192.
3. Фуксман А.Л. Технологические аспекты создания программных систем /А.Л.Фуксман. – М.: Статистика, 1979. – С.184.
4. Чарнецки К. Порождающее программирование: методы, инструменты, применение /К.Чарнецки, У.Айзенекер. – СПб: Питер, 2005. – С.736.
5. Горбунов-Посадов М.М. Расширяемые программы /М.М.Горбунов-Посадов. – М.: Полиптих, 1999. – С.336.
6. Горбунов-Посадов М.М. Как растет программа // Препринт Института прикладной математики им. Келдыша М.В. РАН. – 2000. – №50. – С.16.
7. Липаев В.В. Программная инженерия в жизненном цикле программных средств //http://www.citforum.ru/SE/lipaev.

Материал поступил в редакцию 15.10.08.

Y.A. MARINCHENKO, A.N. LITVINENKO

HOMOGENEOUS STRUCTURES

The concept of homogeneous structures which realize principles of generating and expanded programming is introduced. Homogeneous structures are considered as the configuration reference point of the program project defining a process direction of division into modules and program structurization. Same examples of homogeneous structures are described. The place of concept of homogeneous structures among programming paradigms is analysed. Advantages of the homogeneous structures's use are shown.

МАРИНЧЕНКО Юлия Александровна, аспирант ЮФУ. Окончила Ростовский государственный университет (2004).
Область научных интересов: развитие, доработка, расширение возможностей программного обеспечения. Совершенствование программного обеспечения
Количество публикаций: 12.

ЛИТВИНЕНКО Александр Николаевич (р.1956), кандидат технических наук (1990), доцент кафедры ИиВЭ ЮФУ. Окончил Ростовский государственный университет (1978).
Область научных интересов: программная инженерия, базы данных
Количество публикаций: 35.

УДК 004.65

АЛЬ-ЗГУЛЬ МОСАБ БАССАМ

ГИБРИДНЫЕ АЛГОРИТМЫ В СИСТЕМАХ КЭШИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматриваются гибридные алгоритмы в системах кэширования объектов. Предлагается метод использования гибридных алгоритмов при построении адаптивных систем кэширования. Описывается новый универсальный метод гибридизации двух и более алгоритмов кэширования, а также новый метод для получения гибридного алгоритма RRFU из алгоритмов LRU и LFU. Приведены результаты сравнительного исследования нового алгоритма RRFU и известного гибридного алгоритма LRFU.

Ключевые слова: *стратегии кэширования, гибридные алгоритмы, RRFU, LRFU против RRFU.*

Введение. Темпы роста вычислительной мощности основных компонентов современных микропроцессорных систем стремительно возрастают. Наиболее быстро развивающейся частью системы является микропроцессор, в то время как эффективность других устройств растет значительно медленнее. Прирост производительности процессоров в настоящее время составляет 50-80% в год, для систем же динамической памяти DRAM такой прирост не превышает 10%. Для увеличения вычислительной мощности системы в целом недостаточно увеличения производительности одного лишь микропроцессора. Эффективным способом использования темпов роста производительности процессоров для компенсации отставания темпов роста скорости доступа к DRAM и внешней памяти является кэширование.

Кэширование данных – это универсальный метод ускорения доступа к данным, основанный на комбинации двух типов памяти, отличающихся временем доступа, объемом и стоимостью хранения данных. Наиболее часто используемая в данный период информация динамически копируется из «медленной, но большой» памяти в «быструю, но маленькую» кэш-память.

Например, если кэширование применяется для уменьшения среднего времени доступа к оперативной памяти, то в качестве кэша выступает быстродействующая статическая память процессора или даже его регистры. А если система ввода-вывода кэширует данные для ускорения доступа к информации, хранящейся на диске, то в этом случае роль кэша исполняют буферы в оперативной памяти, в которых оседают наиболее активно используемые данные.

Кэширование широко используется и в Интернете, в частности при разрешении символьных DNS-имен, в протоколе ARP, в работе браузера. Важную роль системам кэширования отводят и в системах управления базами данных (СУБД) [6]. Принципы организации кэширования на сервере базы данных (БД) во многом сходны с организацией кэшей в операционных системах и микропроцессорах. Резкое удешевление аппаратных средств вычислительной техники привело к тому, что в качестве рабочих станций в России широко используются достаточно мощные компьютеры. В этих слу-

чаях двух- и трехзвенные архитектуры представляют дополнительные возможности организации систем кэширования в СУБД, которые могут иметь большую эффективность из-за возможности использования ресурсов компьютеров пользователей и более полного учета семантики их предметных областей. В таких системах могут быть использованы быстро развивающиеся в настоящее время идеи организации кэширования документов в WEB-системах.

Неотъемлемым свойством кэш-памяти является ее прозрачность для программ и пользователей. Система, реализующая кэширование, не требует никакой внешней информации об интенсивности обращения к данным. Ни пользователи, ни программы не принимают никакого участия в перемещении данных из одного типа памяти в память другого типа. Все это делается автоматически системными средствами.

При каждом обращении к основной памяти (к WEB-странице, блоку, объекту) прежде всего анализируется содержимое кэш-памяти с целью определения нахождения в ней требуемых данных. Далее возможен один из двух вариантов развития событий:

- если данные обнаруживаются в кэш-памяти (cache-hit), они считываются из нее и результат передается источнику запроса;
- если нужные данные отсутствуют в кэш-памяти (cache-miss), они считываются из основной памяти, передаются источнику запроса и одновременно с этим копируются в кэш-память.

Эффективность кэширования зависит от вероятности кэш-попадания. Пусть имеется основное запоминающее устройство со средним временем доступа к данным t_1 и кэш-память, имеющая время доступа t_2, очевидно, что $t_2<t_1$. Пусть t — среднее время доступа к данным в системе с кэш-памятью, а p — вероятность кэш-попадания. По формуле полной вероятности имеем:

$$t=t_1 (1 -p) + t_2p = (t_2- t_1)p + t_1. \quad (1)$$

Среднее время доступа к данным в системе с кэш-памятью линейно зависит от вероятности кэш-попадания и изменяется от среднего времени доступа в основное запоминающее устройство t_1 при $p = 0$ до среднего времени доступа непосредственно в кэш-память t_2 при $p = 1$. Отсюда видно, что кэширование имеет смысл только при высокой вероятности кэш-попадания [4].

Вероятность обнаружения данных в кэше зависит от разных факторов таких, например, как: объем КЭШа; объем кэшируемой памяти; алгоритм замещения данных в кэше; особенности выполняемой программы; время ее работы; уровень мультипрограммирования и других особенностей вычислительного процесса. Тем не менее, в большинстве реализаций кэш-памяти процент кэш-попаданий оказывается весьма высоким. Это объясняется наличием у данных объективных свойств – пространственной и временной локальности.

Под временной локальностью понимают свойство данных, при наличии которого, в случае, если произошло обращение по некоторому адресу, то следующее обращение по тому же адресу с большой вероятностью произойдет в ближайшее время.

Данные обладают пространственной локальностью в том случае, если при возникновении обращения по некоторому адресу с большой вероятностью в ближайшее время произойдет обращение к соседним адресам. Особым видом пространственной локальности является так называемая циклическая локальность, при наличии которой трасса обращения к объектам обладает некоторой цикличностью. Циклические (периодические) трассы могут порождаться при выполнении запросов аналитического и статистического характера [4].

Именно основываясь на свойстве временной локальности, данные, только что считанные из основной памяти, размещают в запоминающем устройстве быстрого доступа, предполагая, что скоро они опять понадобятся.

В начале работы системы, когда кэш-память еще пуста, почти каждый запрос к основной памяти выполняется кэш-промахом, чтением данных из основной памяти, передачей результата источнику запроса и копированием данных в кэш. Затем, по мере заполнения кэша, в полном соответствии со свойством временной локальности, возрастает вероятность обращения к данным, которые уже были использованы на предыдущем этапе работы системы, т.е. к данным, которые содержатся в кэше и могут быть считаны значительно быстрее, чем из основной памяти. Свойство временной локальности в полной мере используется в очень распространенном алгоритме кэширования LRU [7]. Недостатком этого алгоритма является невозможность его противостоять циклической локальности.

Рассмотрим пример обработки циклической последовательности алгоритмом LRU (табл.1), в котором представлена последовательность идентификаторов объектов, вызываемых при выполнении некоторого запроса.

Таблица 1

Пример периодической трассы

Позиция в трассе	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	17	18
Идентификатор объекта	7	2	1	9	5	3	7	2	1	9	5	3	7	2	9	5	3

Заметим, что у каждого объекта в этой трассе расстояние до его следующего появления постоянно и для простоты принято равным 6. Допустим, что в кэше может поместиться только 5 объектов. Состояние кэша, начиная с позиции 5 трассы (см.табл.1), содержится в табл.2.

Таблица 2

Состояние кэша при выполнении трассы табл.1

Позиции	Состояние кэша					
	1	2	3	4	5	
5	5	9	1	2	7	промах
6	3	5	9	1	2	промах
7	7	3	5	9	1	промах
8	2	7	3	5	9	промах

Как видно из табл.2, LRU на трассе табл.1 обеспечивает 100% промахов. Известно, что для любых модификаций метода LRU можно подобрать трассы, которые дадут также 100% промахов, т.е. работа системы кэширования на таких трассах будет полностью неэффективной [1].

Свойство пространственной локальности также используется для повышения вероятности кэш-попадания: как правило, в кэш-память считывается не один информационный элемент, к которому произошло обращение, а целый блок данных, расположенных в основной памяти в непосредственной близости с данным элементом [2]. Поскольку при выполнении программы очень высока вероятность того, что команды выбираются из памяти последовательно одна за другой из соседних ячеек, то имеет смысл загружать в кэш-память целый фрагмент программы. Аналогично, если программа ведет обработку некоторого массива данных, то ее работу можно ускорить, загрузив в кэш часть или даже весь массив данных. При этом учитывается высокая вероятность того, что значительное число обращений к памяти будет выполняться к адресам массива данных. Значительно сложнее реализовать пространственную локальность в базах данных. Для этого нужны специальные средства [6] и высокая квалификация разработчиков базы, чтобы воспользоваться этими средствами. Кроме того, изменение частоты выполнения различных запросов к базе данных может потребовать изменение структуры первоначального проекта базы в процессе эксплуатации. В сложных информационных системах во время работы большого числа пользователей и в разнородных прикладных задачах происходит постоянное изменение локализации объектов [3]. Производительность системы кэширования в этом случае может быть повышена с помощью комбинирования нескольких алгоритмов. Недостатком таких гибридных схем является повышение их вычислительной сложности, что, при опережающем росте производительности процессоров в настоящее время, не является существенным.

Постановка задачи. Обосновать возможность применения гибридных алгоритмов в адаптивных системах кэширования с целью повышения эффективности таких систем. Разработать простой и эффективный метод гибридизации, с помощью этого метода получить гибридный алгоритм и экспериментально сравнить эффективность полученного алгоритма с известным гибридным алгоритмом.

Метод адаптивного управления системой кэширования. Допустим, что гибридизации подвергаются два алгоритма кэширования и у алгоритма гибридизации имеется управляющий параметр $\lambda \in [0,1]$. Изменение этого параметра приводит к изменению степени влияния алгоритмов, образующих гибрид, на процесс обработки кэш-прерывания. Рассмотрим схему системы управления гибридным алгоритмом кэширования (рис.1).

Для примера на рис.1 показана схема управления системой кэширования СУБД. Работа системы исследуется с помощью программного стенда, в котором поток запросов к базе данных эмулируется с помощью генератора трасс [5]. Кроме генератора трасс, в программный стенд входят: имитатор кэш-системы; монитор трассы; оптимизатор параметра λ. Монитор трассы запоминает последнюю пройденную часть трассы для дальней-

шей оптимизации. Данная часть трассы передаётся оптимизатору параметра λ, который с помощью алгоритма оптимизации находит такое значение параметра λ, при котором обеспечивалось бы наименьшее количество промахов к кэш-системе для данного участка. Найденное значение λ используется кэш-системой во время записи монитором следующего участка трассы. Далее процесс повторяется. Очевидно, что длина участка трассы, передаваемого оптимизатору (обозначим эту длину n), существенно влияет на работу кэш-системы и, следовательно, n может быть вторым параметром системы оптимизации. В рассмотренных примерах принято, что n принимает постоянное значение и равно 3000. Для повышения эффективности в реальной системе монитор трассы и система оптимизации могут быть реализованы на других процессоре и дисковой подсистеме, чем система кэширования и СУБД [8].

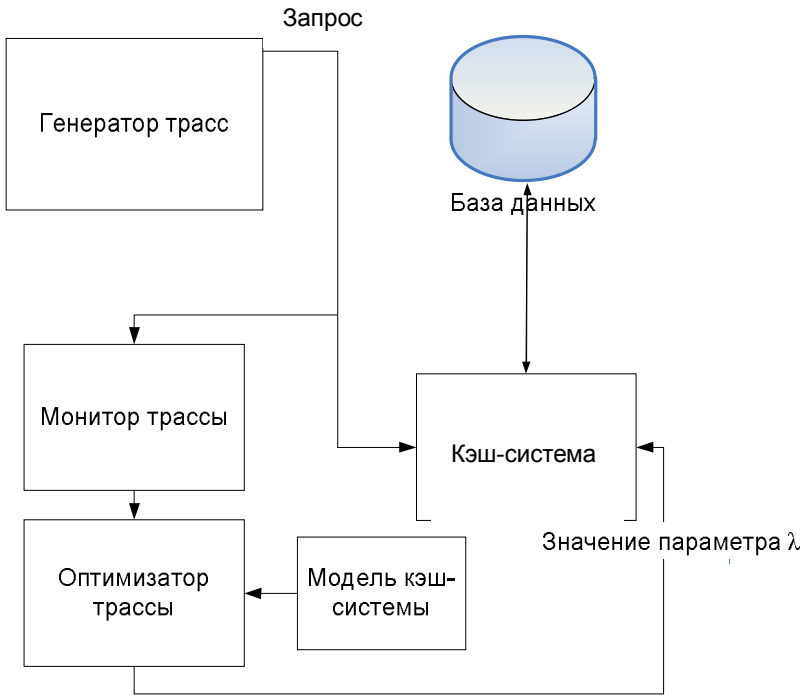


Рис. 1. Схема управления кэш-системой

Методы гибридизации алгоритмов кэширования. Для примера рассмотрим вариант построения гибридного алгоритма Least Recently / Frequently Used (LRFU) на основе комбинирования алгоритмов Least Recently Used (LRU) и Least Frequently Used (LFU) [9].

В алгоритме LRFU для каждого объекта в кэше вычисляется его рейтинг Combined Recency and Frequency (CRF). При вычислении CRF рекурсивно используется так называемая весовая функция $F(x)$ вида:

$$F(x)=\left(\frac{1}{p}\right)^{\lambda x}, \qquad (2)$$

где $p \geq 2$ - параметр метода, чаше всего *p*=2; λ - переменная управления $\lambda \in [0,1]$; x - расстояние в трассе между двумя соседними вызовами объекта.

При каждом кэш-прерывании перерассчитывается рейтинг всех объектов кэша и объект с наименьшим рейтингом удаляется из кэша.

В [9] доказывается, что при $\lambda = 0$ результаты применения рейтинга CRF полностью совпадают с результатами метода LFU, а при $\lambda = 1$ результаты CRF совпадают с LRU.

Эффективность алгоритма LRFU изучалась на примере трассы, сгенерированной с помощью генератора [6]. Вся трасса состоит из трех участков. На первом участке с длиной 30000 обращений генерируются циклические последовательности. На втором участке для генерации потоков запросов используются Марковские цепи [9]. Длина второго участка совпадает с длиной первого. На третьем участке при генерации последовательности обращений вероятность появления любого объекта в трассе постоянна и равна $\frac{1}{N}$, где *N* – число объектов. Длина последнего участка 15000 обращений.

Результаты испытаний метода LRFU представлены на рис.2, на котором изображены графики изменения процента успешного кэш-попадания для методов LRU, LFU и LRFU на разных этапах реализованной трассы.

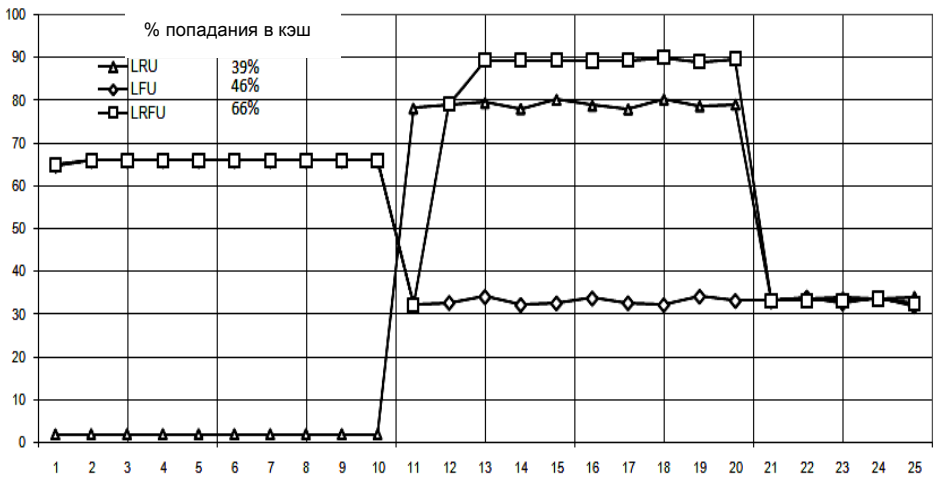


Рис.2. Графики изменения процента попадания в кэш для методов LRU, LFU и LRFU

Как видно из графиков (см.рис.2), эффективность метода LRFU значительно превышает эффективность составляющих его методов LRU и LFU. Недостатком метода LRFU является высокая вычислительная сложность его реализации.

Универсальный метод гибридизации алгоритмов кэширования. Рассмотрим предлагаемый нами метод построения гибридных алгоритмов на примере комбинирования двух известных методов.

Пусть имеется два метода управления системой кэширования, которые в момент t для объектов из кэша дают рейтинг R_i^1 и R_i^2, где *i*=1,2… *N, N*-размер кэша. Введем управляющий параметр $\lambda \in [0,1]$. Пусть в момент времени *t* $\lambda = \lambda_t$. Получим с помощью генератора случайных чисел число $\alpha \in [0,1]$, при этом, если $0 \le \alpha \le \lambda_t$, для разрешения кэш-прерывания будем использовать рейтинг R_i^1, а при $\lambda_t < \alpha \le 1$ – рейтинг R_i^2. При $\alpha = 1$ всегда используется только рейтинг R_i^1, а при $\alpha = 0$ только рейтинг R_i^2. При $0 < \alpha < 1$ с вероятностью α будем использовать рейтинг R_i^1 и с вероятностью $(1-\alpha)R_i^2$.

Заметим, что хранение и обработка рейтингов R_i^1 и R_i^2 необязательны. Достаточно, чтобы структуры данных в кэш-памяти поддерживали оба гибридизируемых алгоритма. Таким образом, гибридизации по этому методу могут подвергаться алгоритмы, в которых вообще отсутствует понятие рейтинга, например, алгоритмы случайного выбора объекта для удаления из кэша.

Используем данный метод для получения гибридного алгоритма на базе методов LRU и LFU. Назовем полученный гибридный алгоритм Random Recently/Frequently Used (RRFU). Алгоритм RRFU был реализован на стенде [5], как и алгоритм LRFU, на тех же трассах и с тем же механизмом оптимизации управляющего параметра λ. Результаты испытаний метода RRFU показаны на рис. 3.

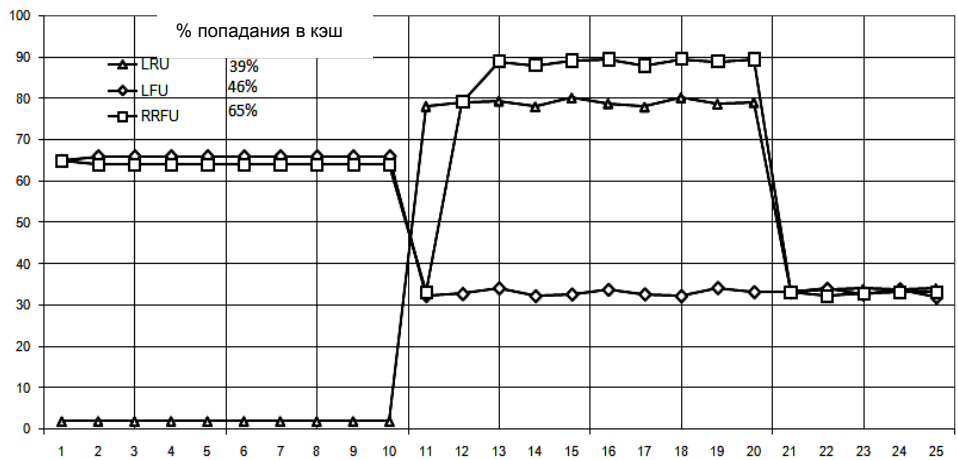


Рис. 3. Графики изменения процента попадания в кэш для методов LRU, LFU и RRFU

Как видно на графиков (см.рис.3), алгоритм RRFU обеспечивает практически ту же эффективность, что и LRFU, однако программная реализация алгоритма RRFU значительно проще, чем у LRFU. Не вызывает никаких сомнений и простота аппаратной реализация метода RRFU.

Выводы. В данной статье предложен метод управления параметрами кэш-системы. Эффективность этого метода показана на примере управления гибридными алгоритмами. Показано, что комбинация алгоритмов кэширования может существенно повысить эффективность системы доступа к информации. Кроме того, предложен простой, эффективный и универсальный метод гибридизации любых алгоритмов кэширования. Простота этого метода позволяет применять его не только в информационных системах и на Web-серверах, но и в операционных системах и процессорах.

Библиографический список

1. Соколинский Л.Б. Стратегия замещения или как освободить место в буфере, проект 00-07-90077 при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, 2002: дис…. д.т.н. – Челябинск, 2003. – С.114-157.

2. Mojtaba Sabeghi, and Mohammad Hossein Yaghmaee 2, Using Fuzzy Logic to Improve Cache Replacement Decisions, March 30, 2006.

3. Dinesh Dasarathan and Santhosh Kulandaiyan, adaptive cache replacement technique, 1998.

4. Олифер В.Г. Сетевые операционные системы. 2-е изд. / В.Г.Олифер, Н.А.Олифер. – СПб: Питер, 2008.

5. Нго Т.Х., Аль-Згуль Б.М. Программный стенд для исследования эффективности алгоритмов кэширования: XXI науч. конф. Т.5. – Саратов, 2008.

6. Вильям Дж., Пейдж. Использование Oracle8/8i. – М., 2000.

7. Таненбаум Э. Современные Операционные Системы. 2-е изд. /Э.Таненбаум. – СПб: Питер, 2002. – С.250-253.

8. Гранков М.В., Нго Тхань Хунг, Аль Згуль Мосаб Басам. Методы разработки тестов на быстродействие информационных систем с использованием цепей Маркова: сб. науч. ст. по проблемам высшей школы. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006.

9. Donghee Lee, Sam H. Noh, Jongmoo Choi, Sang Lyul Min, Implementation and Performance Evaluation of the LRFU Replacement Policy, Dep. Of Computer Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742 Korea.

Материал поступил в редакцию 1.08.08.

MOSAB BASSAM YUSEF AL-ZGOOL

HYBRID ALGORTHIM IN OBJECT CACHE SYSTEMS

In this paper the hybrid algorithms in object caching system is considered. The method using hybrid algorithm in implementation of the adaptive caching systems is offered. The new universal method hybridization of two and more caching algorithms is described. The description of the new hybrid (of the algorithm LRU and LFU) algorithm, namely Random Recently/Frequently Used (RRFU) is presented. The result of comparative study of the new algorithm RRFU and well-known hybrid algorithm LRFU is showed.

Аль-Згуль Мосаб Бассам Юсеф (р.1981), аспирант кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» ДГТУ по научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». Окончил ДГТУ (2005) по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем».
Научные интересы: алгоритмы и методы повешения производительности кэш-систем и систем управления распределенными базами данных.
Автор 6 научных работ.

УДК 621.317.329

Д.Я. ПАРШИН, М.Р. ВИНОКУРОВ

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ СПЛОШНЫХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕД

В статье излагается подход к расчету и моделированию стационарных и квазистационарных магнитных полей, основанный на преобразовании вихревого магнитного поля в потенциальное поле.

Ключевые слова: *вихревое магнитное поле, потенциальное поле источников, токовая нить, двойной слой магнитных зарядов.*

Введение. Подход к расчету и моделированию стационарных и квазистационарных магнитных полей основан на преобразовании вихревого магнитного поля в потенциальное поле источников [1-3]. Распространение понятия скалярного магнитного потенциала на области, занятые токами, позволяет заменить вихревые источники поля скалярными источниками, так как электрические токи заменяются магнитными зарядами, являющимися скалярными величинами.

Постановка задачи. В основу метода положен известный факт, заключающийся в представлении контура, образованного тонкой замкнутой токовой нитью, эквивалентной в отношении магнитного поля, вне его двойным слоем магнитных зарядов, опирающимся на этот контур.

Метод решения. При замене токового контура двойным слоем магнитных зарядов пространство разбивается на две области: область I, лежащую между слоями двойного слоя, и область II — всю остальную. В любой точке области II скалярные потенциалы, определенные токовым контуром и двойным слоем зарядов, совпадают. Поле в этой области, таким образом, рассчитывается правильно при замене токового контура двойным слоем магнитных зарядов. Однако в области I (внутри двойного слоя) напряженность магнитного поля отличается от истинной не только по величине, но и по направлению. Рассчитанное по магнитным зарядам поле $H_р$ в области II совпадает с истинным и можно написать $H=H_р$. В области I поле магнитных зарядов имеет направление, не совпадающее с истинным, поэтому здесь $H \neq H_р$. Таким образом, простое наложение двойных магнитных слоев не позволяет правильно определить поле в некоторой части пространства, в частности в той, где протекает электрический ток. Однако, как было показано в [2], поле в области I можно рассчитать правильно, если внутри области ввести некоторое дополнительное поле $H_о$, определяемое через заданный ток. Благодаря этому вихревое поле удается свести к потенциальному полю магнитных зарядов и рассчитать поле H в однородной, неоднородной и нелинейной средах, а также применить этот подход для решения важных практических задач.

Рассмотренному формальному подходу, связанному с введением в качестве источников поля магнитных зарядов, может быть дано соответствующее физическое толкование, заключающееся в возможности представле-

ния токового контура в виде определенной электрической модели [2]. Непроницаемая перегородка, соединяющая точки расположения проводников, позволяет избавиться от циклической многозначности так, что значение разности магнитных потенциалов на различных ее сторонах равно i, причем потенциал по всей поверхности неизменен. Электрическая модель такой системы состоит из очень тонкой непроводящей перегородки, размеры которой в определенном масштабе устанавливаются расстоянием между точками расположения токов и высотой электролита.

Нижние и верхние поверхности перегородки покрываются проводящими слоями, на которых задается разность электрических потенциалов, пропорциональная току i, т.е. $U=i/K_U$. Вся эта система погружается в электролит, моделирующий среду, окружающую систему с токами. При использовании моделей на основе твёрдых проводящих сред роль непроводящей перегородки может играть разрез, сделанный в этой среде. При этом эквипотенциальные линии модели соответствуют эквипотенциальным линиям скалярного магнитного потенциала, а линии тока (напряженности E) в модели — линиям H в магнитном поле.

Использование принципа наложения при моделировании нескольких систем токов (токовых контуров) приводит к тому, что наличие непроводящей перегородки и эквипотенциальных поверхностей одной системы, которых не должно быть в поле другой системы, вызывает взаимное нарушение граничных условий этих систем. Таким образом, для сохранения справедливости принципа наложения следует исключить непроводящие перегородки и сплошные эквипотенциальные поверхности, образуемые из проводников.

Снятием непроводящей перегородки ликвидируется лишь одна причина нарушения граничных условий. Для применения принципа наложения должны быть ликвидированы также и сплошные проводящие поверхности. Для этого эти поверхности необходимо разделить на элементарные поверхности ΔS_K (электроды), к которым следует подводить токи ΔI_K, пропорциональные значениям напряженности стороннего электрического поля. При выборе размеров электродов, необходимого их количества следует исходить из рекомендаций, приведенных в [2].

Выводы. Применение методики преобразования вихревых магнитных полей к потенциальным полям фиктивных магнитных зарядов для расчёта и моделирования магнитных полей позволяет в целом ряде практических задач упростить математический аппарат при расчёте и моделировании магнитных полей со сложными граничными условиями.

Библиографический список

1. Веников В.А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики) /В.А.Веников. – М.: Высшая школа, 1976. – 480 с.

2. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей /К.С.Демирчян. – Л.: Энергия, 1974. – 288 с.

3. Тозони О.В. Расчет трехмерных электромагнитных полей /О.В.Тозони, И.Д. Маергойз. – К.: Техніка, 1974. – 382 с.

Материал поступил в редакцию 2.06.08.

D.J.PARSHIN, M.R.VINOKUROV

DEVELOPMENT OF WAYS OF MODELLING OF VARIABLES MAGNETIC FIELDS ON THE BASIS OF CONTINUOUS CONDUCTING ENVIRONMENTS

In present article the approach to calculation and modelling of the stationary and almost stationary magnetic fields, based on transformation of a vortical magnetic field to a potential field is stated. The fact consisting in representation of a contour is put in a basis of a method, formed thin closed токовой by a string, equivalent concerning a magnetic field outside of his double layer of magnetic charges leaning on this contour.

ПАРШИН Дмитрий Яковлевич (р.1943), заведующий кафедрой «Электротехника и техническая кибернетика» РГАСХМ, профессор (2008),доктор технических наук (2007). Окончил Новочеркасский политехнический институт (1966).
Область научных интересов: автоматизация производства и робототехника.
Автор более 100 научных публикаций.

ВИНОКУРОВ Михаил Романович (р.1948), доцент кафедры «Электротехника и техническая кибернетика» РГАСХМ, кандидат технических наук (1982). Окончил Омский политехнический институт (1972).
Область научных интересов: теоретическая электротехника.
Автор 26 научных публикаций.

ИНЖЕНЕРНО-АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

УДК 631.354.62-530

В.В. РАДИН, М.С. ГНУТОВ, С.В. КУРУЧУК

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАЗГОНА ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ЛЕНИКСНОЙ ПЕРЕДАЧИ

В данной статье получены уравнения движения привода рабочих органов комбайна при включении лениксной передачи, которая в этот период проявляет свойства нелинейной неголономной связи второго порядка. Показано, что без существенных погрешностей для практики уравнение нелинейной неголономной связи можно линеаризовать и применить для построения аналитической модели разгона привода комбайна уравнения Ценова второго рода.

Ключевые слова: *динамика привода зернокомбайна, неголономная связь второго порядка, линеаризация, уравнения Ценова.*

Введение. В настоящее время актуальным вопросом при аналитическом исследовании динамики неголономных систем является составление уравнений движения системы на основе дифференциальных принципов *n*-го порядка. В связи с этим нам предстоит построить аналитическую модель, описывающую разгон рабочих органов зернокомбайна с помощью лениксной передачи.

Постановка задачи. Представим привод зернокомбайна в виде двухмассовой механической системы, схема которой изображена на рисунке.

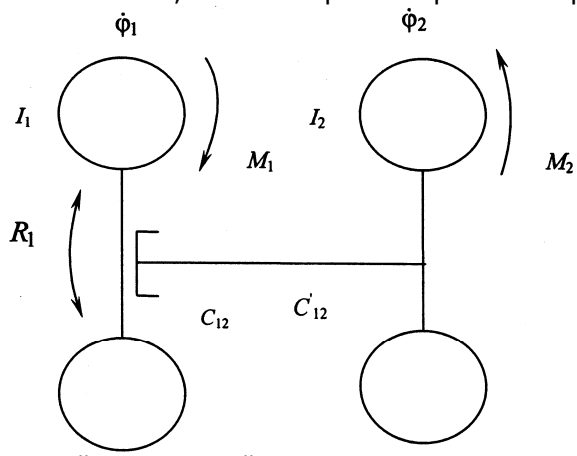


Схема двухмассовой механической системы привода зерноуборочного комбайна: I_1 – момент инерции движущихся масс двигателя, приведенных к коленвалу; I_2 – момент инерции рабочих органов комбайна, приведенных к валу главного контрпривода; M_1, M_2 – крутящие моменты соответственно на валах двигателя и главного контрпривода; $\dot{\varphi}_1, \dot{\varphi}_2$ – угловые скорости соответствующих валов; R_1 – обобщенный реактивный крутящий момент на лениксной передаче в момент включения привода рабочих органов; C_{12}, C'_{12} – соответственно приведенные крутильные жесткости лениксной передачи и валов двигателя и главного контрпривода

Используем для вывода уравнений динамики рассматриваемой системы известные уравнения второго рода Ценова [1,2]

$$\frac{\partial R}{\partial \ddot{q}_{\mu}} + \sum_{h=p+1}^{n} \frac{\partial R}{\partial \ddot{q}_h} в_{h_{\mu}} = 0, \tag{1}$$

где R – вторая функция Ценова; $в_{h_{\mu}}$ – соотношение Аппеля для обобщенных ускорений системы; $\ddot{q}_{\mu}$ – независимое угловое ускорение вала двигателя; $\ddot{q}_h$ – зависимое угловое ускорение вала контрпривода главного; p – число независимых координат системы.

Воспользуемся соотношением

$$R = P - \sum_{i=1}^{n} Q_i \ddot{q}_i, \qquad i = \overline{1,n}, \quad n = 2, \tag{2}$$

здесь P – первая функция Ценова; Q_i – обобщенные силы:

$$P = \frac{1}{2}\left(\ddot{T} - 3\sum_{i=1}^{n} \frac{\partial T}{\partial q_i} \ddot{q}_i \right). \tag{3}$$

$$в_{h_{\mu}} = \frac{\partial \ddot{q}_h}{\partial \ddot{q}_{\mu}}. \tag{4}$$

Методика построения аналитической модели. Обобщенные силы Q_i, как и в уравнениях Лагранжа, находим как коэффициенты при соответствующих вариациях обобщенных координат в выражениях виртуальной работы системы

$$\delta A = \delta A_{\partial} - \delta A_c,$$

где $\delta A_д$ – элементарная работа движущих сил; δA_c – элементарная работа сил сопротивления.

Таким образом,

$$\delta A = M_1 \delta\varphi_1 - M_2 \delta\varphi_2 \text{ и } Q_1 = M_1, \quad Q_2 = -M_2.$$

Кинетическая энергия T в выражении (3) определяется как сумма кинетических энергий сосредоточенных масс рассматриваемой механической системы

$$T = \sum_{i=1}^{n} T_i = \frac{1}{2}\left(I_1 \dot{\varphi}_1^2 + I_2 \dot{\varphi}_2^2 \right). \tag{5}$$

Первая и вторая производные по времени от кинетической энергии системы имеют вид:

$$\dot{T} = I_1 \dot{\varphi}_1 \ddot{\varphi}_1 + I_2 \dot{\varphi}_2 \ddot{\varphi}_2; \tag{6}$$

$$\ddot{T} = I_1 \left(\ddot{\varphi}_1^2 + \dot{\varphi}_1 \dddot{\varphi}_1 \right) + I_2 \left(\ddot{\varphi}_2^2 + \dot{\varphi}_2 \dddot{\varphi}_2 \right). \tag{7}$$

Частные производные от кинетической энергии по обобщенным координатам при допущении, что система состоит только из роторных масс, моменты инерции которых не зависят от положения системы, равны нулю, т.е.

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = 0 .$$

Потому в соответствии с выражением (3) получим:

$$P = \frac{1}{2}\left[I_1 \left(\ddot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_1 \ddot{\varphi}_1 \right) + I_2 \left(\ddot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_2 \ddot{\varphi}_2 \right) \right] - M_1 \ddot{\varphi}_1 + M_2 \ddot{\varphi}_2 .$$

Дифференцируя вторую функцию Ценова по обобщенным ускорениям, получаем:

$$\frac{\partial R}{\partial \ddot{\varphi}_1} = I_1 \ddot{\varphi}_1 - M_1 ; \qquad \frac{\partial R}{\partial \ddot{\varphi}_2} = I_2 \ddot{\varphi}_2 + M_2 .$$

Уравнение нелинейной неголономной связи второго порядка, описывающее реальные свойства лениксной передачи комбайна, полученное в работе [4], имеет вид:

$$f_p = \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1 \left[\frac{K_1 (t) \ddot{\varphi}_1}{\dot{\varphi}_{1xx} - K_2 (t) \ddot{\varphi}_1 i_0} \right] = 0, \qquad (8)$$

где $K_1(t)$, $K_2(t)$ – некоторые коэффициенты, зависящие от параметров лениксной передачи и темпа ее включения; i_0 – исходное передаточное отношение лениксной передачи; $\dot{\varphi}_{1xx}$ – угловая скорость двигателя в режиме холостого хода.

Линеаризуем уравнение (8) относительно обобщенных ускорений. Ограничимся лишь двумя первыми членами разложения нелинейных функций в ряды Тейлора [3]. В результате получим линейное относительно ускорений координат уравнение связи:

$$f_p = \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1 \left\{ a_0 + \left[a_{1\varphi} \left(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_{10} \right) + a_{1k1} \left(K_1 (t) - K_{10} \right) + a_{1k2} \left(K_2 (t) - K_2 \right) \right] \right\} = 0 ,$$

где $$a_0 = \frac{K_{10} \ddot{\varphi}_{10}}{\left(\dot{\varphi}_1 - K_{20} \ddot{\varphi}_{10} \right) i_0} ; \qquad a_{1\varphi} = \frac{\dot{\varphi}_1 K_{10}}{i_0 \left(\dot{\varphi}_1 - K_{20} \ddot{\varphi}_{10} \right)} ;$$

$$a_{1л_1} = \frac{\ddot{\varphi}_{10}}{\left(\dot{\varphi}_1 - K_{20} \ddot{\varphi}_{10} \right) i_0} ; \qquad a_{1л_2} = \frac{K_{10} \ddot{\varphi}_{10}^2}{i_0 \left(\dot{\varphi}_1 - K_{20} \ddot{\varphi}_{10} \right)^2} . \qquad (9)$$

Определяем далее соотношение Аппеля для обобщенных ускорений. Продифференцируем уравнение связи (8) по времени:

$$\ddot{\varphi}_2 = \ddot{\varphi}_1 \left\{ a_0 + \left[a_{1\varphi} \left(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_{10} \right) + a_{1k1} \left(K_1 (t) - K_{10} \right) + a_{1k2} \left(K_2 (t) - K_{20} \right) \right] \right\} +$$

$$+ \dot{\varphi}_1 \left[a_{1\varphi} \dddot{\varphi}_1 + a_{1k1} \dot{K}_1 (t) + a_{1k2} \dot{K}_2 (t) \right]. \qquad (10)$$

Для двухмассовой системы (см.рисунок) при h = 1, μ = 1 соотношение Аппеля будет иметь следующий вид:

$$в_{h\mu} = в_{11} = \frac{\partial \ddot{\varphi}_2}{\partial \ddot{\varphi}_1} = a_0 + \Big[\big(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_{10} \big) a_{1\varphi} + a_{1k1} \big(K_1(t) - K_{10} \big) + \\ + a_{1k2} \big(K_2(t) - K_{20} \big) \Big] + a_{1\varphi} \ddot{\varphi}_1 . \quad (11)$$

В свернутой форме соотношение Аппеля имеет вид:

$$в_{11} = A(t) + 2a_{1\varphi} \ddot{\varphi}_1 , \quad (12)$$

где $A(t) = a_0 - a_{1\varphi} \ddot{\varphi}_{10} + a_{1k1} \big(K_1(t) - K_{10} \big) + a_{1k2} \big(K_2(t) - K_{20} \big).$ (13)

После подстановки всех полученных компонентов в уравнение (1) и соответствующих преобразований получим дифференциальное уравнение, описывающее разгон рабочих органов комбайна с помощью леникcной передачи.

$$I_1 \ddot{\varphi}_1 - M_1 + \big(I_2 \ddot{\varphi}_2 + M_2 \big) \Big[A(t) + 2a_{1\varphi} \ddot{\varphi}_1 \Big] = 0 . \quad (14)$$

Пренебрегая резкостью включения леникcной передачи, сопротивлениями рабочих органов M_2 при разгоне, а также произведя элементарные преобразования, получаем следующую систему дифуравнений для исследования процесса разгона привода комбайна с помощью клиноременной передачи с леникcным включением

$$\left. \begin{array}{l} I_2 \Big[\ddot{\varphi}_1^2 + \ddot{\varphi}_1 \big(A(t) + I_1 \big) + B(t) \dot{\varphi}_1 - M_1 \Big] \Big[A(t) - 2a_{1\varphi} \ddot{\varphi}_1 \Big] = 0, \\ \dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1 \Big\{ a_0 + \Big[a_{1\varphi} \Big[a_{1\varphi} \big(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_1 \big) + a_{1k1} \big(K_1(t) - K_{10} \big) + a_{1k2} \big(K_2(t) + K_{20} \big) \Big] \Big\} = 0 \end{array} \right\} . \quad (15)$$

Выводы.

1. Анализ системы уравнений (15) показывает, что она содержит нелинейные относительно ускорения члены и не может быть использована для определения обобщенных реакций R_1 на леникcной передаче в момент её включения.

2. Использование нелинейного дифуравнения связи второго порядка требует введения новых определений обобщенных вариаций координат, исключающих выводы, выходящие за механику Ньютона.

3. Проведенные расчеты динамических нагрузок в приводе зерноуборочного комбайна ДОН-1500 с помощью системы уравнений (15) позволили установить, что при темпе включения, превышающем 10с, в леникcной передаче резко возрастают динамические нагрузки, обусловленные третьей производной обобщенных координат по времени.

Библиографический список

1. Добронравов В.В. Основы аналитической механики /В.В. Добронравов. – М.: Высшая школа, 1976. – 325 с.

2. Добронравов В.В. Основы механики неголономных систем /В.В.Добронравов. – М.: Высшая школа, 1970. – 285 с.

3. Корн Г. Справочник по математике /Г.Корн, Т.Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.

4. Радин В.В. Динамика и оптимизация процессов в приводах зерноуборочных комбайнов: дис…. д-ра техн. наук / РИСХМ. – Ростов н/Д, 1990. – 382 с.

Материал поступил в редакцию 27.10.08.

V.V. RADINA, M.S.GNUTOVA, S.V.KURUCHUK'S PAPERS.

ANALYTICAL MODEL OF PROCESS OF ACCELERATION OF A DRIVE OF END-EFFECTORS OF THE GRAIN COMBINE AT TURNING ON LENIX-TRANSMISSIONS

In the given paper equations of motion of a drive of end-effectors of a combine are gained at turning on lenix-transmissions which in this phase exhibits properties of a nonlinear nonholonomic constraint of the second order. It is displayed, that without essential lapses for practice the equation of a nonlinear nonholonomic constraint can be linearized and applied to build-up of analytical model of acceleration of a drive of a combine of equation Tsenov of the second stem.

РАДИН Виктор Викторович (р.1939), заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины» Ростовской-на-Дону государственной академии сельхозмашиностроения, доктор технических наук (1991), профессор (1992). Окончил (1962) Ростовский-на-Дону институт сельхозмашиностроения.
Научные интересы: динамика приводов сложных сельскохозяйственных машин.
Имеет 125 научных публикаций.

ГНУТОВ Максим Сергеевич (р.1981), аспирант РГАСХМ. Окончил Ростовскую-на-Дону государственную академию сельскохозяйственного машиностроения (2003).
Научные интересы: динамика привода зерноуборочных машин.
Имеет 3 публикации.

КУРУЧУК Сергей Владимирович (р.1982), соискатель РГАСХМ. Окончил Ростовскую-на-Дону государственную академию сельскохозяйственного машиностроения (2004).
Научные интересы: динамика привода зерноуборочных машин.
Имеет 4 публикации.

УДК 621.43.018.7.001.42

А.Г. АРЖЕНОВСКИЙ, С.В. АСАТУРЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ С ТУРБОНАДДУВОМ ПО УСКОРЕНИЮ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА НА ПЕРЕХОДНОМ РЕЖИМЕ

Рассмотрены и проанализированы недостатки методики, разработанной в Азово-Черноморской государственной агропромышленной академии, по определению энергетических параметров двигателя в эксплуатационных условиях. На основании проведенного анализа предложены усовершенствования методики и средств испытания двигателей с турбонаддувом по ускорению коленчатого вала на переходном режиме.

Ключевые слова: *дизель, переходный режим, угловое ускорение коленчатого вала, мощность, крутящий момент, часовой и удельный расходы топлива, газотурбинный нагнетатель.*

Введение. Определение и контроль технического состояния двигателя без разборки простым и доступным методом позволяют повысить эффективность использования тракторов и более рационально построить систему их технического обслуживания. Важное значение при этом имеет определение энергетических и топливно-экономических параметров двигателя, которые являются основными обобщенными показателями его технического состояния.

Разработанная методика [1] позволяет определять энергетические параметры исследуемого двигателя в эксплуатационных условиях. Суть разработанной методики в следующем.

При резком увеличении подачи топлива в двигателе возникает переходный процесс разгона, который описывается дифференциальным уравнением:

$$I_{\partial} \frac{d\omega}{dt} = M_i - M_{м.п.}, \quad (1)$$

где $I_д$ – приведенный момент инерции движущихся масс двигателя, кгм^2; $\frac{d\omega}{dt}$ – угловое ускорение коленчатого вала, с$^{-2}$; M_i – индикаторный момент, Нм; $M_{м.п.}$ – момент механических потерь двигателя, Нм.

Разница между индикаторным моментом и моментом механических потерь есть ни что иное как крутящий момент двигателя $M_д$. Таким образом, крутящий момент двигателя можно определить по формуле:

$$M_{\partial} = I_{\partial} \frac{d\omega}{dt}, \text{ Нм}. \quad (2)$$

Умножив обе части уравнения (1) на угловую скорость ω, получим:

$$I_{\partial} \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega = \left(M_i - M_{м.п.}\right) \cdot \omega . \quad (3)$$

В правой части (3) имеем известную формулу мощности:

$$\left(M_i - M_{м.п.}\right) \cdot \omega = N_e . \quad (4)$$

Таким образом, мощность двигателя можно определить по формуле:

$$N_e = I_\partial \frac{d\omega}{dt} \cdot \omega \text{ , Вт.} \qquad (5)$$

Анализируя формулы (2) и (5), видим, что значения крутящего момента и мощности пропорциональны угловому ускорению коленчатого вала двигателя на переходном режиме.

Данная методика была реализована посредствам измерительно-вычислительного комплекса (рис.1), который состоит из персонального компьютера с пакетом соответствующих программ, платы аналого-цифрового преобразования «Код-Цифра» (плата АЦП), платы сопряжений и индукционного датчика, установленного вблизи зубьев маховика двигателя.

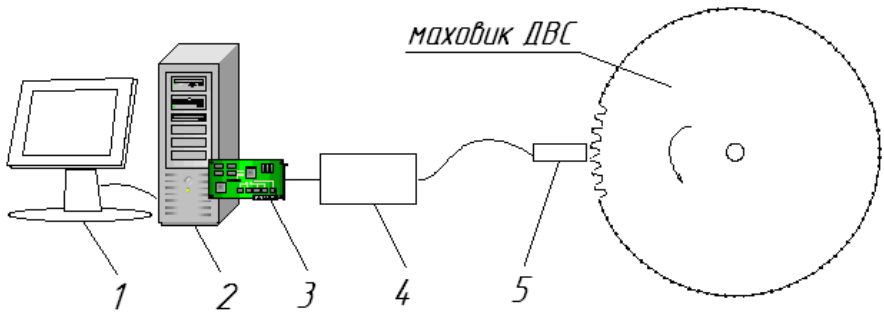


Рис.1. Измерительно-вычислительный комплекс: 1 – монитор; 2 – системный блок; 3 – плата АЦП; 4 – плата сопряжений; 5 – индукционный датчик

Определение энергетических параметров двигателя данным комплексом осуществляется в два этапа – запись кривой разгона (закона движения коленчатого вала) и обработка полученных данных.

Запись кривой разгона заключается в формировании массива данных значения ЭДС датчика во время разгона двигателя. Запись массива данных для определения закона движения коленчатого вала двигателя осуществляется следующим образом. У прогретого двигателя, работающего на минимальных оборотах холостого хода, топливный рычаг необходимо резко перевести в положение, соответствующее максимальной подаче топлива. Двигатель при этом будет разгоняться, значения ЭДС датчика посредствам платы АЦП будут фиксироваться в памяти компьютера с частотой, равной частоте опроса. В результате записи получим файл с данными значения ЭДС катушки датчика в кодовой форме. С помощью пакета прикладных программ к плате АЦП необходимо преобразовать данные в цифровую форму.

Обработка данных сводится к определению закона изменения углового ускорения коленчатого вала $\varepsilon=f(n)$, на основании которого определяются законы изменения $M_д=f(n)$ и $N_e=f(n)$, благодаря знанию которых строится неполная регуляторная характеристика двигателя (без топливных показателей).

Постановка и решение задач. Однако методика, представленная в [1], имеет ряд недостатков. Мы же предлагаем некоторые усовершенствования данной методики и средств испытания двигателей.

1. Методика оценки энергетических параметров тракторных двигателей базируется на определении угловой скорости и углового ускорения коленчатого вала в каждом из выделенных циклов при разгоне двигателя, чтобы по произведению значения ускорения на приведенный момент инерции двигателя судить о крутящем моменте и соответственно о мощности. Согласно [1] значение приведенного момента инерции внутри одной марки двигателя считается постоянной (справочной) величиной с относительной погрешностью 1,3%. Это утверждение основывается на работе [2] и не проверено экспериментально. Кроме того, в настоящее время имеется большое количество отечественных и зарубежных тракторов, приведенный момент инерции двигателей которых найти в справочной литературе не представляется возможным.

Для определения приведенного момента инерции двигателя на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» АЧГАА был изготовлен маховик. Вычислив по формулам теоретической механики момент инерции маховика, была разработана методика определения действительного приведенного момента инерции исследуемого двигателя. Суть ее в следующем.

Вначале необходимо привести момент инерции изготовленного маховика к двигателю по формуле:

$$I_м^{пр} \cong I_м \cdot i_{ВОМ}^{-2} \cdot \sum \eta_{П}, \text{ кгм}^2, \quad (6)$$

где $I_м$ – момент инерции изготовленного маховика, кгм^2; $i_{ВОМ}$ – передаточное число от коленчатого вала к валу отбора мощности (ВОМ); $\sum \eta_{П}$ – суммарный КПД передач от коленчатого вала к ВОМ.

Затем, последовательно разогнав исследуемый двигатель без маховика и с маховиком (соединение с двигателем через ВОМ) и определив соответствующие значения углового ускорения коленчатого вала на номинальном режиме, по формулам определяем действительный приведенный момент инерции двигателя:

$$I_д \cdot \varepsilon_1 = \left(I_д + I_м^{пр} \right) \cdot \varepsilon_2; \quad (7)$$

$$I_д = I_м^{пр} \cdot \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}, \text{ кгм}^2, \quad (8)$$

где ε_1, ε_2 – соответственно угловые ускорения коленчатого вала на номинальном режиме при разгоне двигателя без маховика и с маховиком, с$^{-2}$.

2. Методика АЧГАА и средства, ее реализующие, позволяют определять лишь энергетические показатели двигателя – крутящий момент и мощность. Существенным недостатком методики является невозможность определения топливно-экономических показателей исследуемого двигателя.

Для определения топливно-экономических показателей исследуемого двигателя мы предлагаем снимать зависимость $G_т = f(n)$ топливного насоса высокого давления (ТНВД) двигателя на стенде для проверки и регулировки топливного оборудования. Для этого необходимо, предварительно сняв ТНВД и форсунки с исследуемого двигателя, определить зависимость часового расхода от оборотов по формуле:

$$G_m = \frac{60 \cdot V \cdot n_н \cdot \rho}{10^6 \cdot i_ц}, \text{ кг/ч,} \quad (9)$$

где V – объем поданного топлива всеми секциями топливного насоса (ТН) за 1000 циклов, см^3; $n_н$ – частота вращения вала ТН, об/мин; ρ – плотность топлива, кг/м^3; $i_ц$ – количество циклов ($i_ц$=1000).

Совмещая полученную зависимость $G_т=f(n)$ с полученной ранее зависимостью $N_e=f(n)$, выявляем зависимость $g_e=f(n)$ по формуле:

$$g_e = \frac{G_m \cdot 1000}{N_e}, \text{ г/Втч.} \quad (10)$$

3. Анализируя результаты определения энергетических параметров (графики изменения $N_e=f(n)$, $M_д=f(n)$), наблюдаем смещение корректорных ветвей графиков, полученных по методике АЧГАА, в сторону наименьших значений по сравнению с графиками, полученными по стандартной методике (с помощью тормозных установок). Смещение корректорных ветвей графиков $M_д=f(n)$ и $N_e=f(n)$, полученных по методике АЧГАА, в сторону наименьших значений по сравнению с графиком, полученным по стандартной методике (ГОСТ 7057), мы объясняем инерционностью топливного оборудования и кратковременностью процесса разгона двигателя (рис.2).

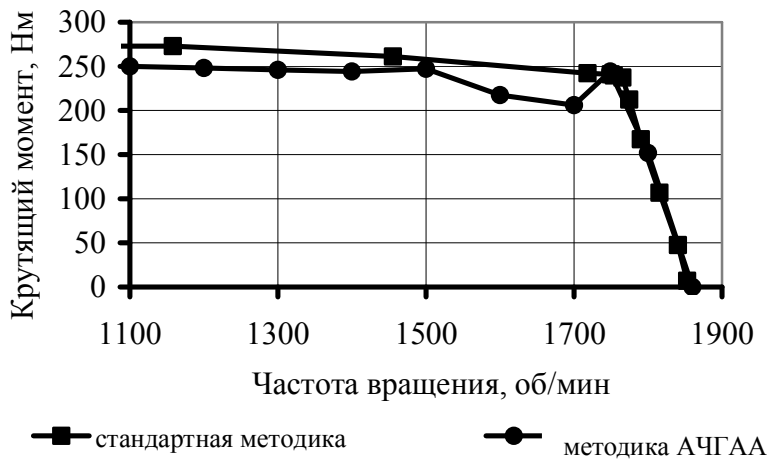


Рис.2. Графики изменения крутящего момента двигателя Д-65Н1, полученные по методике АЧГАА и стандартной методике

Для увеличения времени разгона, а соответственно, и уменьшения влияния инерционности топливного оборудования на результаты определения зависимостей $M_д=f(n)$ и $N_e=f(n)$ мы предлагаем разгонять исследуемый двигатель совместно с разработанным маховиком. Тогда формулы для определения крутящего момента и мощности двигателя будут иметь вид:

$$M_д = \left(I_д + I_м^{пр}\right)\frac{d\omega}{dt}, \text{ Нм;} \quad (11)$$

$$N_e = \left(I_д + I_м^{пр}\right)\frac{d\omega}{dt} \cdot \omega, \text{ Вт.} \quad (12)$$

4. Разработанная на кафедре ЭМТП методика не применима к двигателям с газотурбинными нагнетателями (ГТН), которые находят все большее применение. Это обусловлено тем, что при работе двигателя с турбонаддувом в режиме свободного разгона наблюдается значительное запаздывание турбокомпрессора, вызванное его инерционностью и упругостью газового привода.

Между тем все большее распространение получают энергонасыщенные тракторы, неотъемлемой частью двигателей которых является газотурбинный наддув. Наличие ГТН позволяет использовать энергию отработавших газов, что улучшает экономичность дизелей за счет подачи в цилиндры двигателя воздуха под давлением.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость адаптации методики АЧГАА для определения энергетических показателей двигателей с ГТН.

Известная методика СибИМЭ [3], позволяющая определить мощность двигателя с турбонаддувом на основании значений мощности двигателя с неработающим наддувом и давления, обеспечиваемого наддувом, заключается в следующем.

Сначала необходимо определить давление наддува в режиме полной загрузки. Полную загрузку можно обеспечить разгоном трактора с минимальной скорости движения на высшей передаче до максимальной при резком увеличении подачи топлива (рычаг подачи топлива находится в положении, соответствующем максимальной подаче). Затем с помощью приборов типа ИМД необходимо определить мощность двигателя по ускорению коленчатого вала в режиме свободного разгона. Полученное значение мощности корректируется с учетом давления наддува по уравнению

$$N_e^н = \alpha \cdot N_e^2 + \beta \cdot N_e \cdot p_н + C \text{ , Вт,} \qquad (13)$$

где a – коэффициент при квадратичном члене уравнения; N_e – мощность двигателя с неработающим турбонаддувом, Вт; β – коэффициент взаимосвязи; $p_н$ – давление, обеспечиваемое турбонаддувом, атм.; C – свободный член уравнения.

Выводы. Таким образом, взяв методику [1] за основу, мы определим зависимость $p_н=f(n)$ при разгоне трактора с минимальной скорости движения на высшей передаче до максимальной при резком увеличении подачи топлива. Затем, совмещая полученную зависимость с зависимостью $N_e=f(n)$, найденную по методике АЧГАА, выявляем зависимость $N_e^н=f(n)$ для различных двигателей с Г ТН.

Библиографический список

1. Арженовский А.Г. Совершенствование методики и средств определения энергетических параметров двигателей тракторов в эксплуатационных условиях: дис. … канд. техн. наук /А.Г.Арженовский. – Зерноград, 2004. – 118 с.

2. Лившиц В.М. Экспериментальное определение приведенного момента инерции тракторных двигателей / В.М. Лившиц, В.А. Змановский. – Новосибирск, 1968.

3. А.с. 1 694875 СССР 3 G 01 L 3/10. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания / Д.М. Воронин, Л.В. Дролов, В.М. Лившиц, А.А. Моносзон, А.Ф. Рузанкин. – № 2633662/18-10; заявл. 21.06.80; опубл. 15.11.79, Бюл. № 42. – 2с.: ил.

Материал поступил в редакцию 28.07.08.

A.G. ARZHENOVSKY, S.V. ASATURYAN

TO THE DETERMINATION OF THE BASIC SIGNATURES OF THE TRACTOR ENGINES WITH THE TURBOBLOWER ON ACCELERATION OF THE CRANKSHAFT AT THE TRANSIENT REGIME

The defects found in the methods of the ABSAEA on the designation of the energetic parameters of the engine in the conditions of exploitation are represented and analyzed in the article. On the basis of the given analysis the improvements of the methods and devices of investigations of the engines with the turboblower on the acceleration of the crankshaft at the transient regime are offered.

АРЖЕНОВСКИЙ Алексей Григорьевич (р.1975), доцент кафедры «Механизация растениеводства» ФГОУ ВПО Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии; кандидат технических наук (2004). Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (1997).
Научные интересы в области энергетической оценки машинно-тракторного парка.
Опубликовано более 10 научных работ.

АСАТУРЯН Сергей Вартанович (р.1983), аспирант кафедры «Механизация растениеводства» ФГОУ ВПО Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (2007).
Научные интересы в области энергетической оценки машинно-тракторного парка.
Опубликовано 3 научные работы.

УДК 631.333.4

В.А.ЧЕРНОВОЛОВ, В.А.ЛУХАНИН, Е.В ПОВОЛОЦКАЯ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРОБЕЖНОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ РЕВЕРСИВНОМ ПРИВОДЕ ДИСКОВ

Выполненное моделирование позволяет исследовать зависимости основных выходных параметров диска от факторов, характеризующих место подачи, угол наклона лопаток, свойства удобрений и направление вращения диска. Изменением входных факторов можно получить заданные выходные характеристики для работы аппарата на поле в безветрии, с ветрозащитой и на склоне. Реверсивное вращение дисков позволяет уменьшить диапазон регулировки положения туконаправителей или диапазон регулировки угла наклона лопаток.

Ключевые слова: *туконаправитель, диапазоны регулировки, удобрения минеральные, аппарат распределяющий, центробежный, привод дисков реверсивный, ветрозащита, реверсивное вращение дисков*

Введение. Двухдисковый центробежный аппарат для рассева минеральных удобрений более устойчив к изменению свойств удобрений. Такой аппарат позволяет регулировать ширину кузова в нижней его части и этим увеличить общую грузоподъемность машины. По этим причинам двухдисковые аппараты применяют на прицепных и навесных машинах большой грузоподъемности.

Традиционным считается вращение дисков, когда в передней части машины лопатки движутся встречно. Сброс удобрений с лопаток дисков происходит в задней части машины. Секторы рассева дисков частично перекрывают друг друга. Если диски установлены в одной горизонтальной плоскости, то создаются взаимные помехи в работе дисков. Частицы удобрений, сброшенные одним диском, попадают на лопатки другого диска, снова сбрасываются и могут попадать на лопатки первого диска. Такие многократные соударения приводят к образованию облака частиц, хаотично движущихся вблизи от линии движения машины. В центре полосы рассева образуется пик дозы.

Отметим, требования к величине сектора рассева и его расположению относительно линии движения при работе в безветрии, на склоне и с ветрозащитой различны. В связи с этим целью настоящего исследования является изучение возможностей использования реверсивного вращения дисков для повышения эффективности функционирования центробежных распределительных аппаратов.

Постановка задачи. В конструкции машин для рассева минеральных удобрений предусматривают регулировки положения и величины сектора рассева путем изменения положения туконаправителя или угла наклона лопаток. Регулировки эти оказываются либо трудоемкими, либо недостаточно эффективными, либо конструктивно выполняются достаточно сложно.

У кузовных машин регулировку положения туконаправителя удобнее выполнить продольным его перемещением. Однако только такой регу-

лировки может оказаться недостаточно, поэтому необходимо предусмотреть еще и поперечное смещение туконаправителя.

У бункерных однодисковых машин дозирующее устройство выполняют в виде двух дисков с ортогонально расположенными прорезями переменной ширины. Прорези ограничены двумя логарифмическими спиралями. Дозу внесения регулируют взаимным поворотом дисков. При этом пересечение прорезей происходит при другом расстоянии от центра, и площадь отверстия изменяется. Требование по величине математического ожидания угла бросания в этом случае выполнить легко путем совместного поворота дозирующих дисков вокруг оси распределяющего диска. Величину сектора рассева надо регулировать изменением расстояния от оси вращения распределяющего диска до центра дозирующего отверстия. Это дополнительная регулировка.

Когда конструктор не может решить правильно эти проблемы, он идет по пути более простого решения и, следовательно, по пути ухудшения качества распределения удобрений. По этой причине на современных машинах для поверхностного внесения минеральных удобрений не применяют ветрозащиту. Тогда как применение ветрозащиты с оптимальными параметрами позволяет получить равномерность распределения удобрений, такую как при работе зерновых сеялок с катушечными аппаратами. Машины с такой ветрозащитой можно использовать для разбросного посева риса и других сельскохозяйственных культур.

Дополнительные возможности для оптимизации работы аппарата в различных условиях может дать применение реверсивного вращения дисков. Задача состоит в том, чтобы при минимальных перемещениях туконаправителя и регулировках угла наклона лопаток получить оптимальное распределение удобрений в различных условиях функционирования.

Обоснование направления вращения дисков. Рассмотрим вариант, когда при обычном рассеве удобрений диски вращаются так, что лопатки впереди машины движутся вразлет (рис.1,а). Перекрытие секторов рассева происходит вдали от машины, и взаимные помехи исключены, так как поток удобрений веерообразно расширяется и при удалении от машины плотность потока уменьшается. Соударения частиц при пересечении разреженных потоков мало вероятны.

С ветрозащитой (рис.1,в) диски включают на встречное вращение. Секторы дисков при этом повернуты по направлению вращения дисков и перекрытия секторов рассева нет. Если правильно подобраны место подачи и угол наклона лопаток, то других регулировок не требуется.

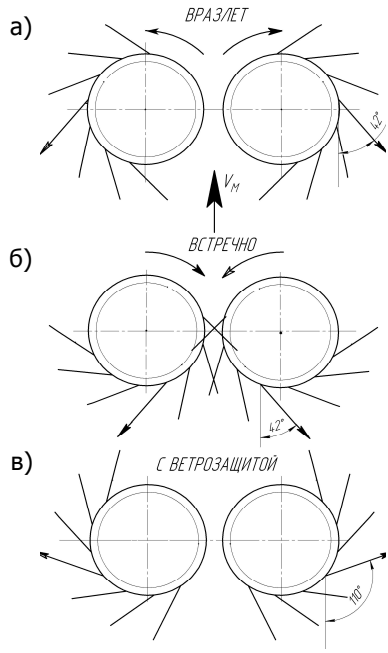
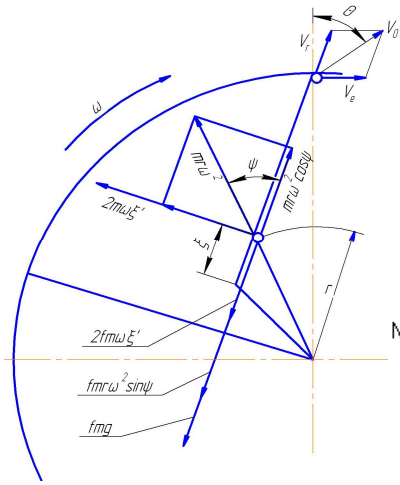


Рис.1. К выбору направления вращения дисков: а – вразлет; б – встречно; в – с ветрозащитой

Регулировка выполняется переключением редуктора либо перестановкой ремня на другой шкив. Поворот сектора по склону тоже можно выполнить реверсированием вращения диска.

Изменение фрикционных свойств удобрений приводит к изменению математического ожидания угла бросания. Для его поддержания на оптимальном уровне регулировка требуется, но диапазон регулировки уменьшается, и его конструктивное исполнение упрощается. В этом варианте проще выполнить систему автоматической стабилизации угла бросания.

Математическая модель. Рассмотрим движение частицы удобрений по лопатке горизонтального вращающегося диска (рис.2) с целью нахождения скорости и направления полета частицы после схода с лопатки.



$$x^T = (-0.1 \quad -0.09 \quad -0.08 \quad -0.07 \quad -0.06 \quad -0.05)$$

$$M = \begin{pmatrix} -1.279 & -1.249 & -1.212 & -1.166 & -1.107 & -1.03 \\ 0.104 & 0.095 & 0.085 & 0.076 & 0.067 & 0.058 \\ 1.893 & 2.185 & 2.49 & 2.836 & 3.236 & 3.718 \\ 12.251 & 12.953 & 13.551 & 14.208 & 14.883 & 15.604 \\ 1.199 & 1.18 & 1.165 & 1.148 & 1.131 & 1.114 \\ 33.518 & 33.843 & 34.129 & 34.453 & 34.794 & 35.17 \\ -1.139 & -0.804 & -0.441 & -0.019 & 0.481 & 1.099 \end{pmatrix}$$

Рис.2. Схема сил, действующих на частицу и вывод результатов счета

На частицу массой m, захваченную лопаткой, в горизонтальной плоскости действуют: центробежная сила инерции $P_ц = m\,r\,\omega^2$, нормальная реакция *N,* силы трения *fmg и fN,* Кориолисова сила инерции $P_x = 2m\omega\xi'$, где *f* – коэффициент трения удобрений о лопатку и диск; ξ – ось координат, направленная вдоль лопатки; ξ' – скорость движения частицы относительно лопатки; *r* – радиус-вектор частицы.

Начало отсчета оси ξ принято от точки подачи частицы. Радиус-вектор этой точки обозначен r_o (см.рис.2).

Дифференциальное уравнение движения частицы имеет вид:

$$\xi''' = r\,\omega^2 \cos\psi - fg \pm f\,r\,\omega^2 \sin\psi - 2\,f\,\omega\,\xi', \qquad (1)$$

где ψ - угол между плоскостью лопатки и радиусом-вектором частицы.

Верхний знак (+) в уравнении (1) соответствует лопатке, отклоненной назад, а нижний (-) – вперед по направлению вращения.

Так как $r\sin\psi = r_0 \sin\psi_0$ и $r\cos\psi = \xi + r_0 \cos\psi_0$, то после преобразований уравнения (1) получим:

$$\xi'' + 2\,f\,\omega\,\xi' - \omega^2\,\xi = r_0\,\omega^2\,\frac{\cos(\psi_0 \mp \varphi)}{\cos\varphi} - fg, \qquad (2)$$

где φ – угол трения частиц о поверхности лопатки и диска; ψ_0 – угол наклона лопатки в точке подачи частицы.

Решение уравнения (2) имеет вид:

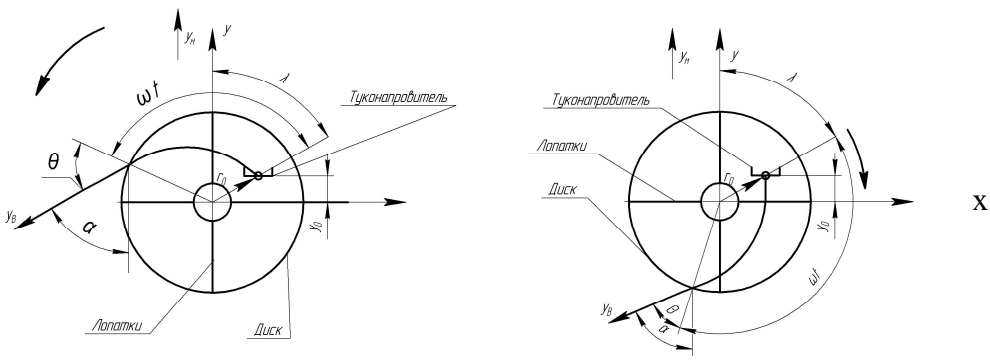
$$\xi = C_1 \cdot e^{\lambda_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{\lambda_2 \cdot t} + B - A, \qquad (3)$$

где $A = \frac{fg}{\omega^2}$; $B = r_0 \frac{\cos(\psi_0 \mp \varphi)}{\cos\varphi}$; $\lambda_1 = \frac{1-\sin\varphi}{\cos\varphi}\omega$; $\lambda_2 = -(\frac{1+\sin\varphi}{\cos\varphi}\omega)$;

C_1 *и* C_2 - постоянные интегрирования, определяемые по начальным условиям.

Если в уравнении (3) координате ξ присвоить значение, равное полной длине лопатки, то можно определить время t_1 движения частицы по диску. Так как время входит в показатели степеней двух экспонент, то его находят решением трансцендентного уравнения. После определения времени движения частицы по лопатке диска необходимо найти выходные параметры движения частицы, влияющие на дальность и плотность распределения частиц по полю.

На рис.3 схематически показаны прямоугольные x, y и полярные r_0, λ_0 координаты точек подачи и выходные характеристики работы диска. Наиболее важными из них являются: угол схода; угол бросания; относительная и абсолютная скорости; угол отклонения абсолютной скорости от радиуса-вектора частицы при ее сходе с диска.



x

Рис.3. Определение угла бросания при реверсе вращения диска

Диск за время движения частицы по лопатке повернется на угол ωt. В момент схода частица имеет скорость V_0, которая равна геометрической сумме относительной и переносной скоростей (см.рис.2 и 3). Скорость V_0 отклонена от радиуса-вектора частицы на угол θ, а от линии движения машины на угол α. Относительную скорость движения частицы по лопатке определяют по уравнению:

$$\xi' = u_e = (A - B)\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}(\exp(\lambda_1 \cdot t) - \exp(\lambda_2 \cdot t)). \qquad (4)$$

Абсолютная скорость частицы в момент схода с диска находится суммированием векторов u_r и u_e.

Угол схода частицы, т.е. угловое перемещение частицы в абсолютном движении до момента схода с лопатки, находим по формуле:

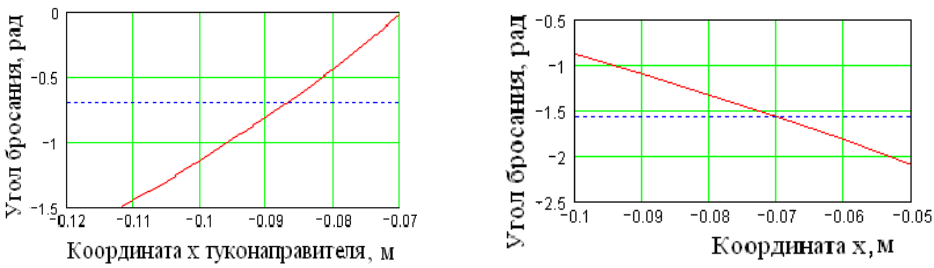
$$\omega t_l = \omega t_1 \pm (\psi_0 - \psi_R). \qquad (5)$$

Углы α_1, α_2 бросания частицы при реверсировании вращения диска по рис.4 определим по формулам:

$$\alpha_1 = \lambda_0 + \omega \cdot t + \theta - \pi \; ; \qquad (6)$$

$$\alpha_2 = \lambda - \omega \cdot t - \theta + \pi \; . \qquad (7)$$

В формулах (5)-(7) положительное направление отсчета углов принято по часовой стрелке. Начало отсчета углов *α* принято от линии, параллельной оси *y,* в основном по кратчайшему расстоянию, т.е. так, чтобы математическое ожидания угла бросания по модулю было меньше $\pi / 2$. Остальные углы отсчитываются от положительного направления оси *y* по часовой стрелке.



а) б)

Рис.4. Выбор места подачи при вращении дисков вразлет (а) и работе с ветрозащитой (б)

Моделирование в системе Mathcad работы центробежного диска выполнено на основе приведенных зависимостей (1)-(7). Программа вычисляет характеристики аппарата при работе с одиночными частицами, подаваемыми в точке с координатами *x, y,* или распределенными вдоль лотка с координатой y_0 и циклической координатой *x.* Результат счета выводится в виде матрицы (см.рис.2). В строках матрицы выведены: угловая координата точки подачи; радиус-вектор точки подачи; угол ωt; относительная скорость частицы; угол θ отклонения абсолютной скорости от радиуса-вектора частицы в момент схода; начальная скорость метания; угол бросания.

Программа зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ. Для моделирования реверсивного движения в программе выполнены изменения, связанные со знаками в формулах (1)-(5). Программа позволяет выбрать наилучший вариант расположения зоны подачи удобрений на диск. Перебор возможных вариантов и анализ результатов моделирования превратились в процедуру, доступную студентам, конструкторам и исследователям.

Результаты моделирования работы центробежного аппарата. Угол бросания, относительная и абсолютная скорости метания увеличиваются при приближении зоны подачи к центру диска.

По рис.4,а и 4,б видно, что можно выбрать место подачи и угол наклона лопаток для выполнения условий оптимальности работы диска при работе в открытом исполнении и с ветрозащитой.

Для двухдискового аппарата рекомендуется принимать M_α= ±42º при обычном рассеве удобрений.

По рис.1 для правого диска и схеме работы «вразлет» получим значение M_α= - 0.7 рад. Примем y_0 = 0.03 м и ψ_R = 0,1 рад. По результатам счета (см.рис.2 и 4) видно, что значение M_α= - 0.7 рад получено при x= - 0.087 и y = 0.03. При этом же положении туконаправителя и вращении диска против часовой стрелки диски работают «встречно». Этот режим пригоден для работы с ветрозащитой, если значение M_α= - 1,57 рад или меньше (см.рис.4,б). Угол бросания, равный 1,57 рад, получен при x, равном 0,07 м, т.е. туконаправитель надо сдвинуть в поперечном направлении всего на 0,017 м.

Более тщательным подбором угла наклона лопаток можно получить полное совпадение углов бросания, требуемых по заданию.

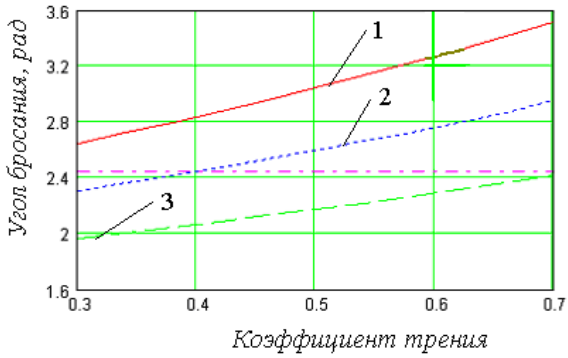


Рис.5. Зависимость угла бросания от коэффициента трения и поперечной координаты туконаправителя:
1 – x=0.08;
2 – x=0.1;
3 – x=0.12 м

Влияние угла трения удобрений по лопаткам диска на угол бросания показано на рис.5. При x=0,1 м и коэффициенте трения f = 0.4 получено M_α= 2,442 рад, что равнозначно M_α= - 0,7 рад. Изменение коэффициента трения до 0,65 приводит к увеличению угла бросания до 2,84 рад, т.е. на 0,4 рад. Для восстановления прежнего значения M_α= 2,442 рад необходимо увеличить координату x на два сантиметра.

Выводы. 1. Применение системы компьютерной математики Mathcad позволяет рассчитать выходные параметры центробежного аппарата по решениям дифференциальных и трансцендентных уравнений без упрощающих допущений.

2. Реверсивное вращение дисков рекомендуется использовать при изменениях условий функционирования. При свободном выбросе удобрений предпочтительно вращение вразлет, при работе с ветрозащитой – встречно.

3. Реверсивное вращение дисков позволяет уменьшить диапазон регулировки положения туконаправителей или диапазон регулировки угла наклона лопаток.

Библиографический список

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин /П.М.Василенко. – Киев: Изд. УАСХН, 1960. – 283с.

2. Догановский М.Г., Рядных В.В. К определению параметров роторных разбрасывающих механизмов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1965. – № 4. – С. 8-1I.

3. Догановский М.Г., Козловский Е.В., Рядных В.В. Выбор места подачи удобрений на бросковый механизм // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – №4. – С.33-36.

4. Скользаев В.А., Черноволов В.А. Методика технологического расчета центробежных дисковых аппаратов // Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства: сб.ст. – Зерноград, 1969. Вып. ХП. – С. 135-140.

Материал поступил в редакцию 28.07.08.

V. CHERNOVOLOV; V. LUKHANIN; E. POVOLOTSKAYA.

THE SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE CENTRIFUGAL DEVICE FOR DISTRIBUTION OF THE MINERAL FERTILIZERS AT A REVERSING GEAR OF THE DISKS

The modeling done under the programme «DISK-REVERSE» allows to build the diagrams of dependence of the basic digital output parameters of the disk from the factors characterizing a place of giving, an angle of an inclination and direction of the disk rotation. The given digital output characteristics for work of the device on a field in calm, with wind protection and on a slope can be received by changing the digital input factors.

Reversing disk rotation allows to reduce a range of diapason of the manure guide or the range of regulation of an angle of boards inclination.

ЧЕРНОВОЛОВ Василий Александрович (р.1938), заведующий кафедрой механизации и растениеводства, доктор технических наук, профессор. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (1962).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Автор более 160 научных публикаций.

ЛУХАНИН Владимир Александрович (р.1983), аспирант кафедры механизации и растениеводства. Окончил Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (2005).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства
Автор 4 научных работ.

ПОВОЛОЦКАЯ Екатерина Викторовна, аспирант кафедры механизации и растениеводства. Окончила Азово-Черноморскую государственную агроинженерную академию (2006).
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства
Автор 3 научных работ.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 681.523

В.П. ЖАРОВ, А.Т. РЫБАК, С.А. ЗАТОЛОКИН, В.И. МИРНЫЙ

ПРИВЕДЕННАЯ ОБЪЁМНАЯ ЖЁСТКОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение приведенной объёмной жёсткости рукавов высокого давления и зависимости приведенной объёмной жёсткости гидравлического цилиндра от изменения объёмов рабочих полостей в процессе перемещения его штока.
Ключевые слова: *гидросистема, объёмная жёсткость, эксперимент.*

Постановка задачи. Стремительное развитие электронных средств решения математических задач привело к повышению популярности численных методов решения дифференциальных уравнений, описывающих функционирование гидромеханических систем (ГМС) на неустановившихся режимах. Один из таких методов использует понятие «приведенная объёмная жёсткость» (ПОЖ) [1], которая представляет собой приращение давления, необходимое для изменения объема рассматриваемого участка гидросистемы на единицу.

Для определения ПОЖ различных гидроаппаратов, в том числе гидролиний, получен ряд формализованных зависимостей [1]. Однако в указанной работе отсутствует экспериментальное подтверждение полученных аналитически формул. С другой стороны, формулы для определения ПОЖ гидролиний можно применять только для изотропных оболочек, выполненных из материалов, модуль упругости которых несоизмеримо выше модуля упругости рабочей жидкости. В то время как в силовом гидравлическом приводе широко используются рукава высокого давления (РВД), упругие свойства которых до сих пор не поддаются строгому аналитическому описанию. В этом случае приведенную объёмную жёсткость следует определять экспериментально.

В связи с вышеизложенным в настоящей работе поставлены две задачи:

- разработать методику и произвести экспериментальные исследования, которые бы подтвердили или опровергли полученные аналитически формулы для определения ПОЖ поршневого гидроцилиндра (ГЦ);
- разработать методику и произвести экспериментальные исследования, направленные на определение ПОЖ РВД.

ПОЖ поршневого гидравлического цилиндра. Следует отметить, что в результате изменения внутренних объёмов рабочих полостей ГЦ в процессе функционирования изменяются и их приведенные объёмные жёсткости. Это изменение описывается следующими формулами [1]:

$$C_{\text{пр.п}} = \frac{4E_{\text{ж}}}{\pi d^2 x\left(1+\frac{d}{\delta}\frac{E_{\text{ж}}}{E_{\text{ст}}}\right)+4V_{\text{п.вр}}};$$

$$C_{\text{пр.шт}} = \frac{4E_{\text{ж}}}{\pi(L\text{-}x)\cdot\left[\left(d^2-d_{\text{шт}}^2\right)+\frac{d^3}{\delta}\frac{E_{\text{ж}}}{E_{\text{ст}}}\right]+4V_{\text{шт.вр}}},$$

где $C_{\text{пр.п}}$ и $C_{\text{пр.шт}}$ – ПОЖ поршневой и штоковой полостей ГЦ соответственно; L – полный ход штока; $d_{\text{шт}}$ – диаметр штока; d – внутренний диаметр гильзы ГЦ в ненапряжённом состоянии; x – перемещение штока; $E_{\text{ж}}$ и $E_{\text{ст}}$ – модули упругости жидкости и материала стенки ГЦ соответственно; δ – толщина стенки ГЦ; $V_{\text{п.вр}}$ и $V_{\text{шт.вр}}$ – объём вредного пространства поршневой и штоковой полостей ГЦ соответственно.

С целью подтверждения приведенных выше аналитических зависимостей были произведены экспериментальные исследования гидроцилиндра с диаметром поршня $d_{\text{п}}$ = 80 мм, диаметром штока $d_{\text{шт}}$ = 40 мм, длиной хода штока L = 0,9 м, толщиной стенки гильзы 10 мм. В качестве рабочей жидкости использовалось минеральное масло МГП-30.

Методика исследования гидроцилиндра. Определение ПОЖ ГЦ осуществлялось на специальном стенде, схема которого приведена на рис.1.

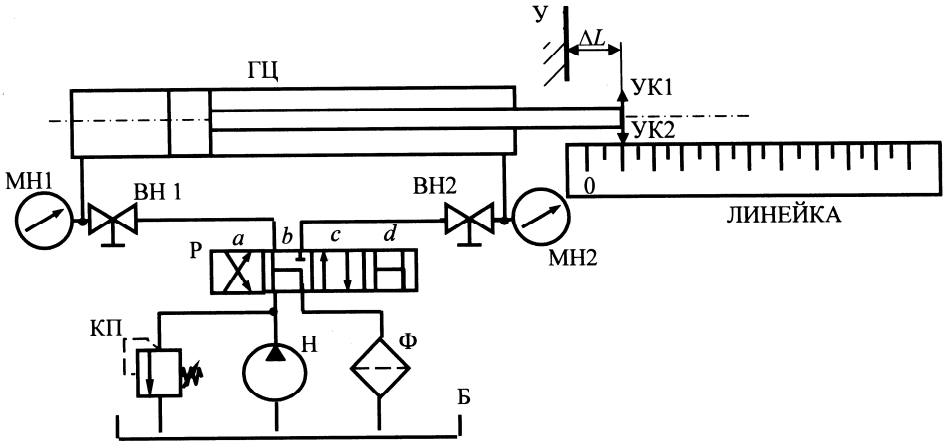


Рис.1. Принципиальная схема стенда для определения ПОЖ рабочих полостей поршневого ГЦ

Для измерения контролируемых величин использовались следующие приборы: для определения величины хода штока гидроцилиндра – металлическая линейка с пределом измерения 1000 мм и ценой деления 1 мм; для контроля давления – образцовые манометры с пределом измерения 25 МПа, ценой деления шкалы 0,1 МПа и с классом точности 0,4; для определения перемещения штока в результате деформации корпуса гидроцилиндра и сжимаемости рабочей жидкости под воздействием изменения давления – электронный штангенциркуль с ценой деления 0,01 мм.

Перед началом серии опытов стенд был тщательно подготовлен. Испытуемый гидроцилиндр и все прочие элементы гидросистемы были заполнены рабочей жидкостью таким образом, чтобы гарантировать отсутствие во внутренней полости свободных объемов воздуха и других газовых включений. Обеспечена абсолютная герметичность системы. На протяжении всего эксперимента гидронасос Н оставался включенным.

Эксперименты осуществлялись следующим образом. Шток ГЦ полностью втягивается внутрь гильзы. Указатели УК1 и УК2, закреплённые на штоке ГЦ, совмещаются с 0 линейки и с передвижным упором У, расположенным на неподвижной раме стенда соответственно. Стенд готов к работе.

При закрытом вентиле ВН2 и открытом вентиле ВН1 гидрораспределитель Р устанавливается в позицию « *c* », рабочая жидкость от гидронасоса Н направляется в поршневую полость гидроцилиндра ГЦ. В результате сжатия рабочей жидкости, находящейся в штоковой полости ГЦ, и деформации её стенки шток выдвигается, при этом повышается давление как в поршневой, так и в штоковой полостях. Уровень давления контролируется соответственно манометрами МН1 и МН2. После срабатывания предохранительного клапана КП герметично закрывается вентиль ВН1, а золотник гидрораспределителя Р переводится в позицию « *d* », обеспечивающую разгрузку гидронасоса Н.

По линейке контролируется полный ход штока. С помощью штангенциркуля контролируется перемещение штока ΔL_{i1}, произошедшее в результате суммарной деформации рабочей жидкости в штоковой полости ГЦ и её стенки – расстояние от упора У до указателя УК1.

Затем открывается вентиль ВН2. Рабочая жидкость вытекает из штоковой полости ГЦ в гидробак Б, и шток выдвигается на величину ΔL_{i2} за счёт расширения рабочей жидкости в поршневой полости и сжатия её, ранее деформированной, стенки. Здесь следует иметь в виду, что расстояние между упором У и указателем УК1 представляет собой суммарное перемещение штока

$$\sum \Delta L_i = \Delta L_{i1} + \Delta L_{i2},$$

где i – номер перестановки упора У (в описываемом случае i= 1), i = 1…n. Причём n зависит от предела измерения штангенциркуля и суммарного хода штока ГЦ. Описанные выше измерения производятся до тех пор, пока штангенциркуль обеспечивает измерение $\sum \Delta L_i$.

Затем упор У перестанавливается (i = 2). По линейке фиксируется ход штока, при котором производится перестановка упора У. Эксперимент продолжается до полного выдвижения штока гидроцилиндра из гильзы.

Обработка опытных данных осуществлялась следующим образом (рис.2). При каждом положении штока ГЦ, начиная с 0, производятся следующие расчёты:

- определяется изменение объёмов штоковой $\Delta V_{\text{шт}i}$ и поршневой $\Delta V_{\text{п}\,i}$ полостей гидроцилиндра:

$$\Delta V_{\text{шт}i} = \frac{\pi\left(d_{\text{п}}^2 - d_{\text{шт}}^2\right)}{4} \cdot \Delta L_{i1} \;, \qquad \Delta V_{\text{п}i} = \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} \cdot \Delta L_{i2} \;;$$

- для данного положения штока гидроцилиндра определяются приведенные объёмные жёсткости его полостей:

$$C_{\text{пр.шт}} = \frac{p_{\text{шт}}}{\Delta V_{\text{шт}i}} \ , \quad C_{\text{пр.п}} = \frac{p_{\text{п}}}{\Delta V_{\text{п}i}};$$

- рассчитывается приведенный модуль упругости для каждой из полостей гидроцилиндра:

$$E_{\text{пр.п}} = C_{\text{пр.п}} \frac{\pi d_{\text{п}}^2}{4} \cdot L \ , \quad E_{\text{пр.п}} = C_{\text{пр.шт}} \frac{\pi\left(d_{\text{п}}^2 - d_{\text{шт}}^2\right)}{4} \cdot L \ .$$

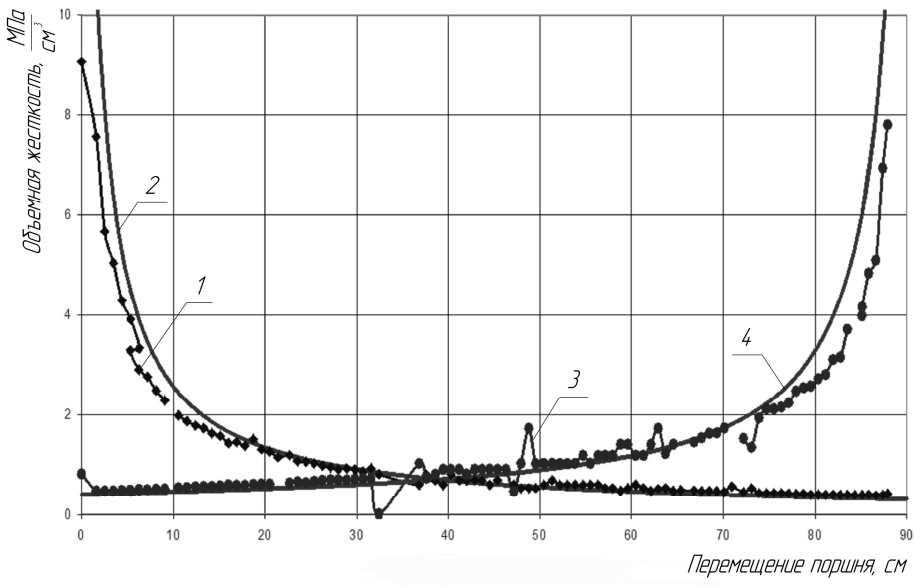


Рис.2. Графики изменения ПОЖ полостей поршневого ГЦ при перемещении его штока: 1 – поршневая полость экспериментальная; 2 – поршневая полость теоретическая; 3 – штоковая полость экспериментальная; 4 – штоковая полость теоретическая

Расчёты производились по всему ходу штока гидроцилиндра, который составляет L = (0…90) см.

Результаты экспериментальных исследований гидроцилиндра, приведённые в виде графиков 1 и 3 на рис. 2, свидетельствуют о том, что характер зависимостей ПОЖ рабочих полостей поршневого гидроцилиндра от перемещения его штока, полученных экспериментально и рассчитанных по приведенным выше формулам, идентичен. Погрешность между расчётными и экспериментальными значениями ПОЖ не более 10-15%, что с указанной погрешностью позволяет использовать предлагаемые формулы для описания динамических процессов, протекающих в рабочих полостях гидроцилиндров.

Приведенная объёмная жёсткость РВД. Экспериментальное определение ПОЖ РВД осуществлялось по специально разработанной методике с использованием стенда, выполненного на базе грузопоршневого манометра МП-600 (рис.3).

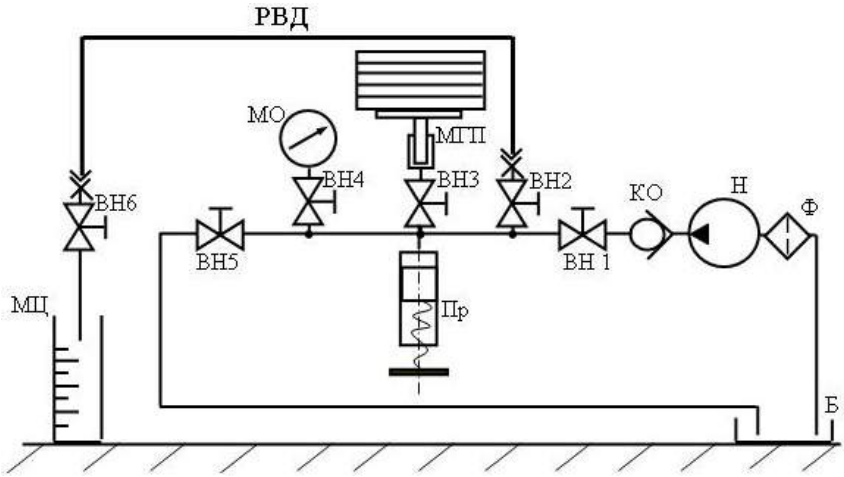


Рис.3. Гидравлическая схема стенда для определения ПОЖ РВД

Работа на стенде осуществлялась в следующем порядке. Ручным гидронасосом Н рабочая жидкость забирается из гидробака Б и через обратный клапан КО и открытый вентиль ВН1 нагнетается во внутреннюю полость стенда. Вентили ВН5 и ВН6 при этом герметично закрыты, а вентили ВН2, ВН3 и ВН4 открыты. По достижении давления внутри гидросистемы стенда, контролируемого образцовым (МО) и грузопоршневым (МГП) манометрами требуемого уровня, закрывается вентиль ВН1. После этого при помощи винтового пресса Пр давление плавно доводится до требуемой величины. Вентиль ВН2 закрывается, что изолирует внутренний объём испытуемого РВД от объёма гидросистемы стенда. Открывается вентиль ВН6, и в результате сжатия деформированного РВД из него в соответствующий мерный цилиндр вытесняется объём жидкости, за счёт нагнетания которого давление внутри рукава было увеличено.

С целью повышения точности измерений на каждом давлении осуществлялось несколько замеров (от 3 до 15).

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием следующих зависимостей:

$$V = \frac{V_\Sigma}{N}\ ; \qquad C_{\text{пр}} = \frac{p}{V},$$

где V – средний объём жидкости, вытесненной из РВД за один цикл его нагружения при каждом уровне давления; V_Σ - суммарный объём жидкости, вытесненной из РВД за весь опыт при данном уровне давления; N – число циклов нагружения при данном уровне давления; $C_{\text{пр}}$ – ПОЖ РВД при давлении p.

Результаты исследований РВД приведены в виде графиков на рис.4-6, на которых изображены полученные экспериментально зависимости ПОЖ РВД от давления.

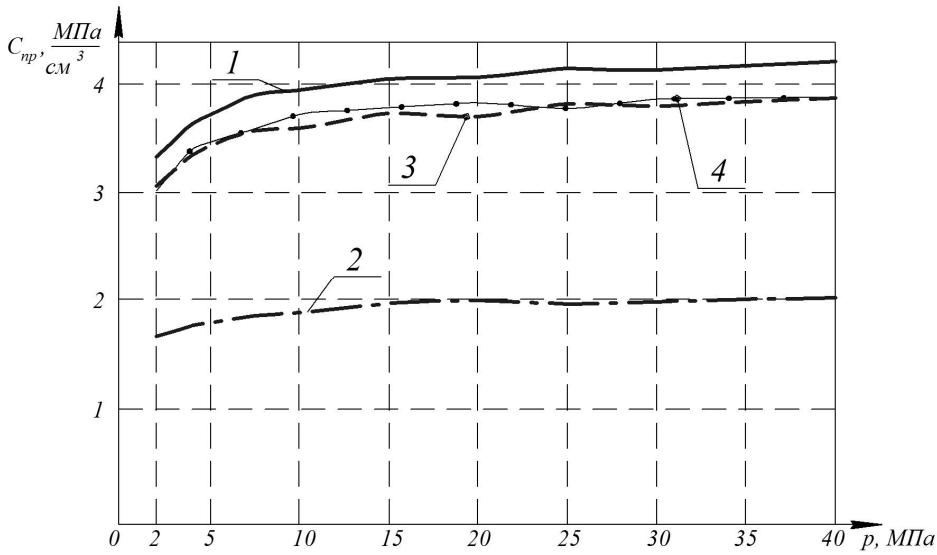


Рис.4. Графики зависимости от давления ПОЖ РВД с диаметром условного прохода d_1 = 16 мм, длина которого, без учёта длины ниппелей штуцеров (чистая длина, резинокордовой оболочки), составляет L_{11} = 0,94 м (1); такого же рукава длиной L_{12} = 1,94 м (2); тех же рукавов, пересчитанные на 1 погонный метр их длины (3) и (4) соответственно

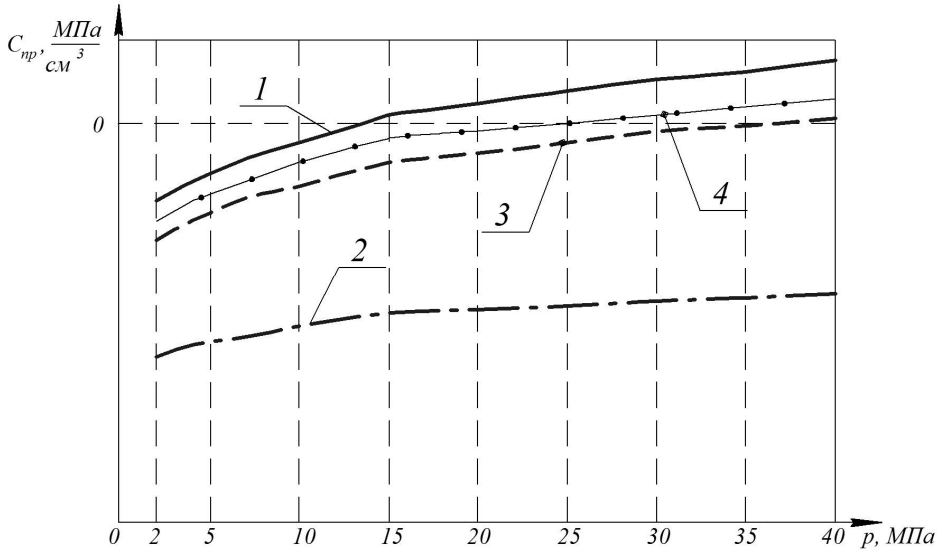


Рис.5. Графики зависимости от давления ПОЖ РВД с диаметром условного прохода d_2 = 32 мм, длиной L_{21} = 0,88 м (1); такого же рукава длиной L_{22} = 1,88 м (2); тех же рукавов, пересчитанные на 1 погонный метр их длины (3) и (4) соответственно

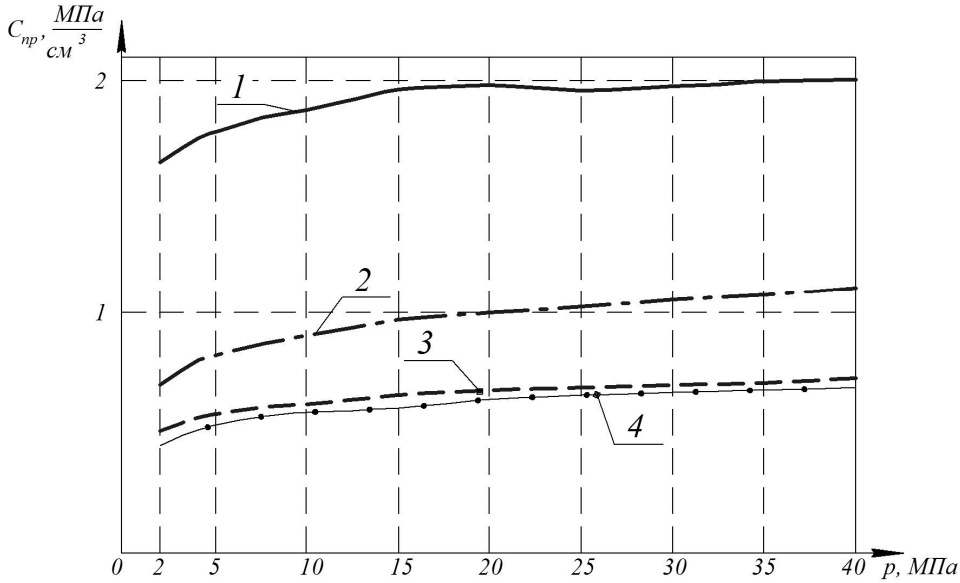


Рис.6. Графики зависимости ПОЖ РВД: диаметром условного прохода d_1=16 мм, длиной L_{12}=1,94 м (1); диаметром условного прохода d_2 = 32 мм, длиной L_{21} = 0,88 м (2); тех же рукавов, включённых в цепь параллельно, полученная экспериментально (3) и рассчитанная аналитически с использованием экспериментальных данных (см.рис. 3, кривые 1 и 2) (4)

Анализируя полученные кривые, легко заметить, что приведенная объёмная жёсткость всех исследуемых РВД при низком уровне нагружения (p < 15 МПа) нелинейно возрастает с ростом давления. Такой характер изменения ПОЖ резинокордовых РВД можно объяснить тем, что в указанной зоне изменения давления изменение их внутреннего объёма происходит в результате выборки зазоров между струнами плетёного металлического корда. При дальнейшем повышении давления внутри оболочки её ПОЖ изменяется линейно, так как в этом случае происходит растяжение струн, образующих корд. То есть здесь оболочку с некоторым приближением можно рассматривать как металлическую поверхность с определёнными жёсткостными характеристиками.

Выводы. По результатам описанных выше экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

во-первых, как уже говорилось, предлагаемые в [1] формулы по определению ПОЖ с достаточной точностью согласуются с экспериментальными данными, а потому могут быть использованы при описании динамики процессов, протекающих в гидравлических приводах;

во-вторых, при описании динамических процессов, протекающих в РВД, могут использоваться экспериментальные зависимости их ПОЖ от давления. Очевидно также, что для определения ПОЖ РВД различной длины нет необходимости экспериментально исследовать каждый из них, достаточно знать ПОЖ единицы длины оболочек различного типа, что позволит рассчитать приведенную объёмную жёсткость рукавов высокого давления для любой длины, изготавливаемых из этих оболочек.

Библиографический список

1. Рыбак А.Т. Объёмная жёсткость и её влияние на динамику гидромеханической системы / А.Т. Рыбак // Вестник ДГТУ. –2006. –Т.6. –№3(30). – С. 200-207.

Материал поступил в редакцию 27.10.08.

V.P. JAROV, A.T. RYBAK, S.A. ZATOLOKIN, V.I. MIRNY

BROUGHT THREE-DEMENTIONAL ACERBITY OF THE HYDRAULIC SYSTEMS

Happen to the results of the experimental studies, directed on determination brought three-dementional acerbity sleeve high pressure and hydraulic cylinder from degree of the moving the rod.

РЫБАК Александр Тимофеевич (р. 1953), профессор кафедры «Технологическое оборудование» Донского государственного технического университета (2008), кандидат технических наук (1990). Окончил РИСХМ (1979) по специальности «Приборы точной механики».
Научные интересы связаны с исследованием динамики гидромеханических систем и их элементов.
Имеет более 90 публикаций, в том числе 18 авторских свидетельств СССР и патенты РФ.

ЖАРОВ Виктор Павлович (р. 1937), заведующий кафедрой «Теоретическая механика» Донского государственного технического университета, доктор технических наук (1980).
Научные интересы связаны с исследованием гидравлических систем автоматического регулирования и управления мобильных машин и технологического оборудования.
Имеет более 200 научных трудов, в том числе монографии, учебники с грифом Минобразования РФ, отраслевой и государственный стандарты, 9 авторских свидетельств СССР и патентов РФ.

ЗАТОЛОКИН Сергей Александрович (р. 1983), аспирант кафедры «Технологическое оборудование» ДГТУ (2006).
Научные интересы связаны с исследованием гидравлических систем технологического оборудования.
Имеет 9 научных публикаций.

МИРНЫЙ Виктор Игнатьевич (р. 1947), ст.преподаватель кафедры «Управление качеством» Донского государственного технического университета.
Научные интересы связаны с исследованием динамики гидромеханических систем и их элементов.
Имеет 9 научных публикаций.

УДК 621.9.06:628

А.В. МОЗГОВОЙ

ВИБРОЗАЩИТНАЯ СИСТЕМА РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ВЫБИВНОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ ОТДЕЛЕНИЯ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

Рассмотрена методология моделирования и оптимизации виброзащитной системы рабочего места оператора выбивной решетки для отделения вибрационным методом формовочной смеси в литейном производстве.
***Ключевые слова**: рабочее место оператора, виброзащитная система, решетка, моделирование, оптимизация.*

Введение. В литейном производстве для отделения формовочной смеси используются инерционные (ударные), вибрационные и выдавливающие устройства. Наибольшее распространение получили ударные устройства, обеспечивающие быстрое разрушение формовочной смеси за счет ударного взаимодействия опоки и решетки.

Однако при этом создаются высокие, зачастую недопустимые уровни вибраций и шумов, что приводит к необходимости создания специальных виброшумозащитных устройств, затраты на проектирование, производство и эксплуатацию которых значительно превышают экономию электроэнергии за счет уменьшения времени отделения формовочной смеси ударным методом.

В связи с этим рассмотрим виброзащитную систему рабочего места оператора, обеспечивающую отделение формовочной смеси вибрационным методом.

Обоснование и описание модели. Представим решетку в виде однонаправленного вибратора, совершающего периодические вертикальные колебания вдоль оси Z (рисунок). Однонаправленность вибратора вызвана необходимостью уменьшения числа обобщенных координат колебаний до одной, что снижает колебания и шум по остальным направлениям.

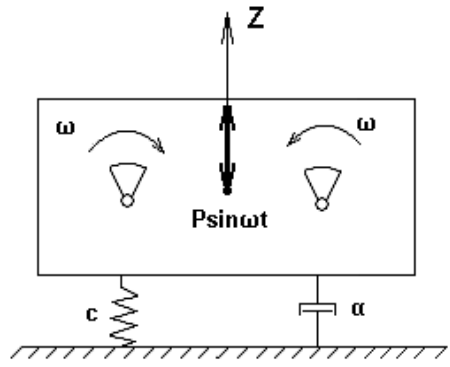


Рис. 1. Расчетная схема однокоординатных колебаний выбивной решетки вибрационного типа

С целью исключения проявления свойств нелинейных систем (деления, затягивания частот и др.) при пуске и остановке выбивной решетки используем линейные амортизаторы, у которых приведенный коэффициент жесткости и приведенный коэффициент демпфирования линейные.

Возможность использования линейных амортизаторов обусловлена тем, что амплитуда колебаний вибрационных решеток мала и находится в пределах линейной деформации амортизаторов.

Дифференциальное уравнение линейных колебаний вибрационной решетки имеет вид:

$$mz'' + \alpha z' + cz = P\sin\omega t\ , \tag{1}$$

где m – масса вибрационной решетки; c,α – приведенные коэффициенты жесткости и демпфирования амортизаторов; P – амплитуда возмущений силы вибровозбудителя; ω – ее частота.

С учетом обозначений $\frac{\alpha}{m} = 2n$, $\frac{c}{m} = k^2$ уравнение (1) приведем к виду:

$$z'' + 2nz' + k^2 z = \frac{P}{m}\sin\omega t\ . \tag{2}$$

Учитывая, что в системе подвески рассматриваемой решетки демпферы не используются, демпфирование считаем малым ($n < k$).

В этом случае, как известно [1,2], частное решение уравнения (2) имеет вид:

$$z = \frac{P}{m\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2 + 4n^2\omega^2}}\sin\left(\omega t - \delta\right), \tag{3}$$

где δ – фазовый сдвиг между возмущающей силой и перемещением решетки.

$$\delta = arctg\frac{2n\omega}{k^2 - \omega^2} \tag{4}$$

В прикладной теории виброизоляции качество виброзащиты определяется коэффициентом передачи сил (коэффициентом виброизоляции) $K_в$, представляющим отношение амплитуды силы передаваемой основанию $R_{\max}$ к амплитуде возмущающей силы P:

$$K_в = \frac{R_{max}}{P}. \tag{5}$$

В соответствии с гипотезой о равенстве действия и противодействия сила, передаваемая основанию, равна реакции основания. Реакция основания R представляет сумму реакций силы упругости и силы сопротивления амортизатора:

$$R = cz + \alpha z'\ . \tag{6}$$

В соответствии с (3) скорость колебаний имеет вид:

$$z' = \frac{P\omega}{m\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2} + 4n^2\omega^2}\cos\left(\omega t - \delta\right)\cdot \tag{7}$$

Подставив в (6) z и z' в соответствии с (3) и (7), после ряда преобразований получим:

$$R_{\max} = \frac{Pk^2}{\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2 + 4n^2\omega^2}} \sqrt{1 + \frac{4n^2\omega^2}{k^4}}. \qquad (8)$$

Тогда коэффициент виброизоляции в соответствии с (5) примет вид:

$$K_в = \sqrt{\frac{k^4 + 4n^2\omega^2}{k^4 + 4n^2\omega^2 + \omega^2\left(\omega^2 - 2k^2\right)}}. \qquad (9)$$

Для эффективности виброизоляции коэффициент виброизоляции должен быть меньше единицы. Как следует из (9), это возможно, если $\omega^2 - 2k^2 > 0$, т.е.

$$\frac{\omega^2}{k^2} > 0 \quad \text{или} \quad \frac{\omega}{k} > \sqrt{2}\ . \qquad (10)$$

Для оценки конструктивных параметров выбивной решетки вибрационного типа на коэффициент виброизоляции $K_в$ в равенстве (9) заменим $k^2 = \frac{c}{m}; \quad 2n = \frac{\alpha}{m}$.

При этом коэффициент виброизоляции примет вид:

$$K_в = \sqrt{\frac{c^2 + \alpha^2\omega^2}{c^2 + \alpha^2\omega^2 + m\omega^2\left(m\omega^2 - 2c\right)}}. \qquad (11)$$

Для эффективности виброизоляции ($K_в$<1) должно выполняться условие:

$$m\omega^2 - 2c > 0 \quad \text{или} \quad \frac{\omega^2 m}{c} > 2\ . \qquad (12)$$

Очевидно, что неравенства (10) и (12) эквивалентны, однако в (12) наглядно представлено влияние массы выбивной решетки на ее собственную частоту колебаний. Для вибрационных решеток это связано еще и с тем, что ее масса определяется как массой самой решетки m_p, так и массой устанавливаемых на ней опок m_o (грузоподъемностью решетки), т.е. $m = m_p + m_o$.

Таким образом, оптимизацию колебательной системы выбивной решетки вибрационного типа можно осуществлять вариацией наряду с другими параметрами, массами решетки и опок.

Оптимизация виброзащитной системы. В качестве критерия оптимизации принимается коэффициент виброизоляции, определяемый равенством (11). На параметры, входящие в равенство (11), накладываются конструктивные ограничения в виде неравенств. Например, конструктивно амортизаторы должны иметь приведенные коэффициенты жесткости и коэффициенты демпфирования в некоторых заданных пределах, определяемых допустимой статической и динамической деформациями, отсутствием специальных демпферов и др.

Кроме этого, как было отмечено ранее, из конструктивных соображений масса вибрационной решетки на стадиях проектирования задается в определенных пределах, связанных с габаритными размерами решетки, ее грузоподъемностью и др. Особенностью при этом является возможность использования балластной массы, присоединяемой к выбивной решетке.

На оптимизируемые параметры $П$ накладываются, как было отмечено выше, конструктивные и другие ограничения вида:

$$П_{\min} \le П \le П_{\max}\ П_{\min} \le П \le П_{\max},$$

которые записываются обычно в виде:

$$П \in \bar{П},$$

где $\bar{П} = [П_{\min}, П_{\max}]$ – допустимая область вариации параметров; $\in$ – символ принадлежности.

Структуру (принцип построения) выбивной решетки примем, как и на рисунке, в связи с чем ее оптимизацию можно сформулировать как параметрическую оптимизацию. Исходя из этого, задача оптимизации виброзащитной системы вибрационной решетки сформулирована в следующем виде:

$$\begin{aligned} & K_в \to \min; \\ & c_{\min} \le c \le c_{\max}; \\ & \alpha_{\min} \le \alpha \le \alpha_{\max}; \\ & m_{\min} \le m \le m_{\max}; \\ & \omega_{\min} \le \omega \le \omega_{\max}; \\ & \frac{\omega^2 m}{c} > 2. \end{aligned} \qquad (13)$$

В качестве примера рассмотрим оптимизацию вибрационной системы выбивной решетки, близкой параметрам решетки модели 31213, находящейся в эксплуатации в литейных цехах заводов машиностроения:

$$\begin{array}{ccccccc} K_в & \to & \min & & & & \\ 30000000 & \le & c & \le & 35000000 & Нм^{-1}; & \\ 15000 & \le & \alpha & \le & 20000 & Нм^{-1}с; & \\ 5000 & \le & m & \le & 7000 & кг; & \\ 140 & \le & \omega & \le & 160 & с^{-1}; & \\ \frac{\omega^2 m}{c} & > & 2. & & & & \end{array} \qquad (14)$$

Оптимизация выполнена с использованием системы MATLAB+Simulink (пакет оптимизации Optimization Toolbox) в виде задачи

минимизации при наличии ограничений. В результате оптимизации найдены следующие оптимальные параметры:

$$c = 30000000\ Нм^{-1};\quad \alpha = 15000\ Нм^{-1}с;\quad \omega = 160\ с^{-1};\quad m = 7000\ кг.$$

Минимальное значение коэффициента виброизоляции $K_в = 0,2$, $\frac{\omega^2 m}{c} = 5,1 > 2$, что позволяет в 5 раз снизить динамические нагрузки на фундамент выбивной решетки.

В качестве вибровозбудителя выбивной решетки вибрационного типа принят двухвальный центробежный вибровозбудитель (см.рисунок), создающий синусоидально колеблющуюся вертикально направленную возбуждающую силу, создаваемую установленными на двух параллельных валах (вращающихся с одинаковыми угловыми скоростями ω в противоположных направлениях) одинаковыми дебалансами.

С учетом изложенного, амплитуда центробежной силы вибровозбудителя:

$$P = D\omega^2\ , \tag{15}$$

где D – общий дисбаланс вибровозбудителя.

Для нахождения общего дисбаланса вибровозбудителя, обеспечивающего найденные оптимальные параметры выбивной решетки, используем амплитуду A ее вынужденных колебаний в соответствии с равенством (3):

$$A = \frac{P}{m\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2 + 4n^2\omega^2}}. \tag{16}$$

С учетом равенств (15), (16) общий дисбаланс вибровозбудителя будет иметь вид:

$$D = \frac{Am\sqrt{\left(k^2 - \omega^2\right)^2 + 4n^2\omega^2}}{\omega^2}. \tag{17}$$

Амплитуда вынужденных колебаний A определяется технологическим процессом и принята A = 0,0016 м.

В соответствии с изложенным выше, подставив в (17) оптимальные значения параметров $m,\ \omega,\ k^2 = \frac{c}{m},\ 2n = \frac{\alpha}{m},\ A = 0,0016$, общий дисбаланс вибровозбудителя $D = 9,33\ кгм$.

Выводы. Изложенная методология синтеза виброзащитной системы рабочего места оператора позволяет прикладную теорию виброизоляции свести к оптимизационной задаче и снизить динамические нагрузки и вибрацию рабочего места оператора в 5 раз.

Материал поступил в редакцию 31.01.08.

Библиографический список

1. Ден Гартог Дж.П. Механические колебания / Ден Гартог Дж.П. – М.: Физматгиз, 1960. – 580 с.

2. Защита от вибраций и ударов: справочник; под ред. К.В.Фролова. – М.: Машиностроение, 1981. – Т.6. – 456 с.

A.V. MOZGOVOY

VIBRATING PROTECTION SYSTEM OF THE WORKPLACE OF THE OPERATOR OF THE KNOCK-OUT LATTICE FOR BRANCH OF THE FORMING MIX

The methodology of modeling and optimization of vibrating protection systems of a workplace of the operator of a knock-out lattice for branch by a vibrating method of a forming mix in foundry manufacture is considered.

МОЗГОВОЙ Андрей Владимирович (р. 1976), ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды». Окончил ДГТУ (1998).
Научные интересы в области защиты окружающей среды.
Имеет 5 научных публикаций, 1 авторское свидетельство.

УДК 621.9.06-82

А.М. АЛЬ-КУДАХ., В.С.СИДОРЕНКО, В.И. ГРИЩЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОВОРОТНО-ДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ УСТРОЙСТВАМИ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ СВЯЗИ

Предлагается и исследуется обобщенная математическая модель динамической системы автоматизированного гидромеханического устройства позиционирования (ГМУП) станочных систем с управлением сливом. Вычислительным экспериментом получены осциллограммы процесса позиционирования, установлены зависимости выбега планшайбы от скорости позиционирования, момента инерции заготовки, противодавления на сливе. Построенное ГМУП для координатно-сверлильного станка подтверждает практическую значимость результатов моделирования при разработке аналогичных механизмов.

***Ключевые слова**: поворотно-делительные механизмы, гидромеханические устройства позиционирования, позиционирование, гидравлические линии связи, точность, быстродействие, исполнительные механизмы*

Введение. Современное автоматизированное технологическое оборудование (ТО) характеризуется многообразием исполнительных механизмов (ИМ), обеспечивающих формообразующие траектории движения инструмента или обрабатываемой детали, их базирование, фиксацию, наладку процесса металлообработки. Поэтому повышение эффективности металлообработки неразрывно связано с совершенствованием действующих и созданием новых исполнительных механизмов максимального быстродействия и точности, обеспечивающих требуемые производительность и качество обработки.

Постановка задачи. Обладая известными преимуществами, широкое применение получают гидромеханические позиционирующие устройства, наиболее полно отвечающие таким требованиям [1,2]. Главное из них – возможность организации рациональных траекторий движения, обеспечивающих достижение максимального быстродействия при заданной точности позиционирования ИМ наиболее простыми средствами. Задачи оптимального управления такими механизмами [2,3], показывают, что наиболее эффективно они решаются гидромеханическими позиционерами с управляемой сливной линией и гидромеханическим тормозом [3]. Формирование требуемых управляющих воздействий, организация оптимальных позиционных циклов реализуются применением многофункциональных управляющих устройств с гидравлическими линями связи, позволяющие существенно повысить быстродействие и стабильность контура управления гидравлических позиционных приводов ИМ. На их выходах формируются управляющие сигналы, достаточные для прямого управления приводом. Кроме того, появляются реальные возможности управления процессом позиционирования изменением структуры ГМУП внутри цикла (на ходу), активизируя традиционное параметрическое управление траекториями движения ИМ. Это и являлось основой схемотехнического поиска решения задачи.

Целью настоящего исследования является формирование обобщенной математической модели динамической системы поворотно-делительного механизма станка с позиционным гидроприводом и оригинальным управляющим устройством, установление влияния основных характеристик и параметров динамической системы привода на быстродействие и точность позиционирования, что позволяет использовать полученные результаты на этапе проектирования при меньших затратах времени и средств.

Обобщенная структурная схема поворотно-делительного механизма (ПДМ) на рис.1 поясняет состав и взаимные связи механической, гидравлической и управляющей подсистем. Механическая подсистема передает крутящий момент от выходного звена гидромотора через передаточно-преобразующий механизм (ППМ), например, поворотно-делительному механизму. В дальнейшем формализуется двухмассовой упругой динамической системой.

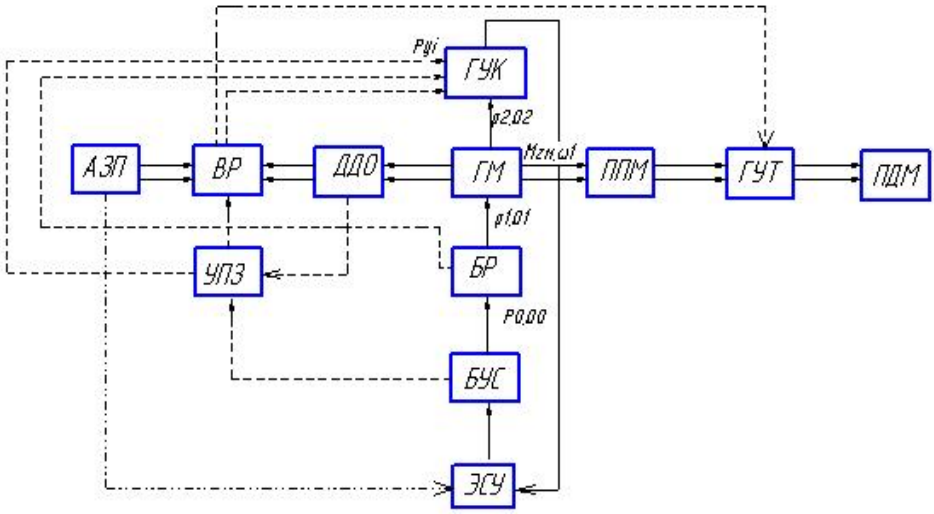


Рис.1. Обобщенная структурная схема поворотно-делительного механизма с ГМУП: ЭСУ - энергосиловая установка; ГМ - гидромотор; ПДМ – поворотно-делительный механизм; ГУК - гидроуправляемый клапан; УПЗ - устройство предварительного замедления; ППМ - передаточно-преобразующий механизм; ГУТ - гидроуправляемый тормоз; АЗП - автономный задатчик перемещений; ВР - вращающийся распределитель; БУС - блок управления скоростью; БР - блок распределителей; ДДО - дискретный датчик оборотов гидромотора

Гидравлическая подсистема включает энергосиловую установку, гидромотор, блок распределителей и формирует параметры потока жидкости p1,p2,Q1,Q2, преобразует его энергию в движение выходного звена гидромотора с заданными скоростью $\omega 1$ и крутящим моментом $M_{ГМ}$.

Управляющая подсистема обеспечивает алгоритм управления позиционными циклами в автоматическом режиме. Состав и последовательность управляющих воздействий обеспечивают автономный задатчик пе-

ремещений, вращающийся распределитель, кинематически связанный с валом гидромотора, гидроуправляемый клапан и гидроуправляемый тормоз. Многофункциональное устройство разработано на основе гидроуправляемого клапана с гидравлическими управляющими связями.

Указанные устройства объединяются гидравлическими управляющими линиями связи в единый контур гидравлического управления ГМУП. Его отличие от известных ранее решений [1] в том, что все участки траекторий при разгоне, замедлении, позиционировании обеспечивает одно устройство на базе гидроуправляемого клапана и короткой неразветвленной ГЛС, ВР и ГУК. Это позволяет существенно повысить быстродействие и стабильность срабатывания ГУК.

При составлении принципиальной гидрокинематической схемы ГМУП использовали структурную схему (см.рис.1) и типовой рабочий цикл движения планшайбы ПДМ (рис.2): исходное положение с фиксацией планшайбы (А) - разгон планшайбы до заданной угловой скорости $\omega 2$ (В) с максимальным крутящим моментом гидромотора $M_{ГМ}$ (АВ) – замедление движения до $\omega 3$ (ВС) за один оборот ГМ до заданной координаты – останов вала ГМ и планшайбы в точке позиционирования (D) перекрытием сливной линией гидромотора ГУК – фиксация вала гидромотора гидроуправляемым тормозом для сохранения положения планшайбы при воздействии на неё технологических и позиционных нагрузок. Организация траектории движения с максимальным быстродействием при заданной точности возможна построением ГМУП с автоматически изменяемой структурой при выполнении гидравлических элементов позиционного цикла. Эту задачу в предлагаемом решении выполняет многофункциональное управляющее устройство на базе гидроуправляемого клапана.

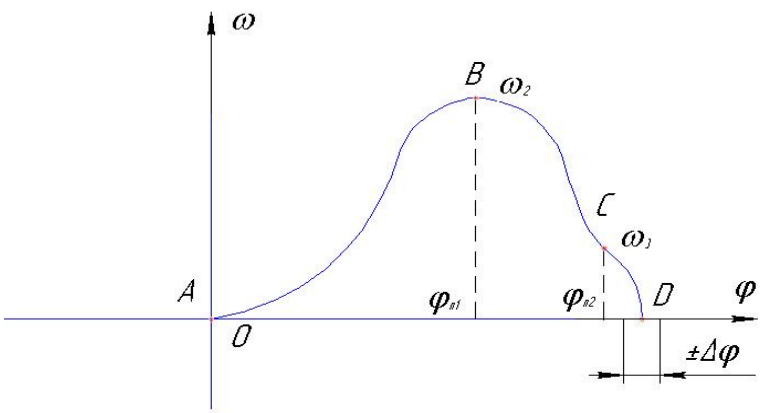


Рис.2 Типовой портрет цикла позиционирования

Угловые координатные перемещения планшайбы ПДМ обеспечивает ГМ (через передаточно- преобразующий механизм с передаточным отношением ip), управляемый ВР, кинематически связанным с валом гидромотора. Положение ГУК определяется уровнем управляющего давления pyi, подводимого в его заклапанную полость и формируемого распределителем Р4. Положение золотника распределителя Р4 определяется управляющими сигналами p6 и p3, в гидравлических линиях связи его управления от уст-

ройства предварительного замедления УПЗ и ВР при совпадении его рабочих окон.

Очередное угловое перемещение планшайбы задается автономным задатчиком перемещения (АЗП). Включением электромагнитов YA1 или YA2 задается требуемое направление вращения вала гидромотора. Одновременно отключением электромагнита YA3 устройства предварительного замедления (УПЗ) происходит отключение контура гидравлического управления (КГУ). Распределитель Р3 занимает верхнюю позицию, переключая распределитель Р4 в позицию I. Последний подводит давление р5 в ГУК, открывает его и сливную линию ГМ. Происходит разгон по траектории АВ (рис.2).

При этом структура гидравлической подсистемы представляет передачу насос-мотор с незначительными потерями мощности в силовом контуре. В точке переключения управления φп1 (за один оборот до останова) включается YA3. УПЗ занимает положение как на схеме (рис.3). Давлением рн2 включается распределитель Р3. Распределитель Р4 занимает среднюю позицию II, соединяя сливную линию ГМ с заклапанной полостью ГУК. Структура гидравлической подсистемы автоматически переходит в дроссельный гидропривод с дросселированием ((на выходе)) ГУК. Происходит замедление от ω2 до ω3 по траектории ВС. В точке С (φп2) совмещаются рабочие окна ВР. Сигнал р6 на его выходе переключает Р4 в позицию III, соединяя заклапанную полость со сливом. Усилием сжатой пружины ГУК клапан смещается влево, перекрывая слив гидромотора.

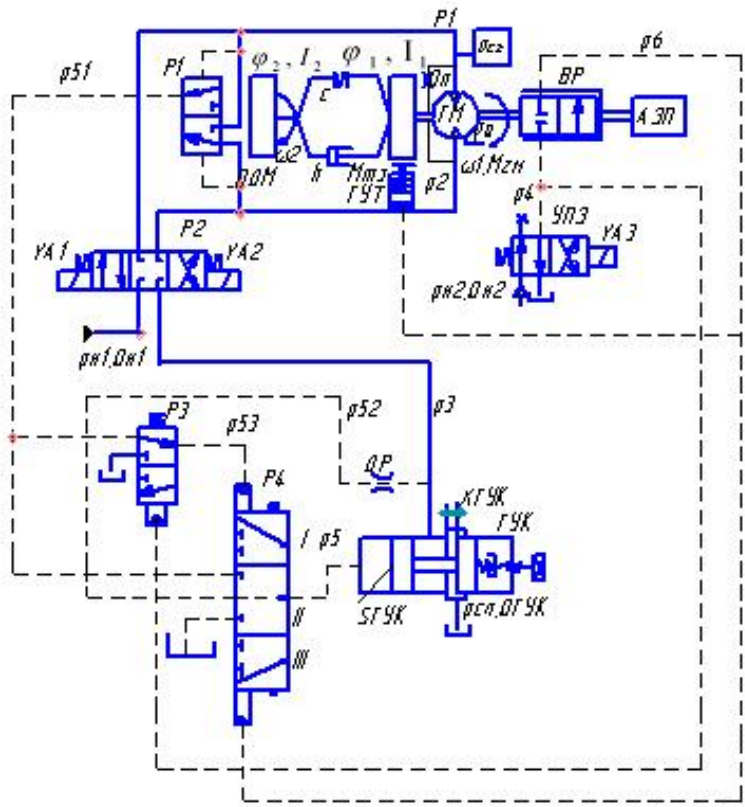


Рис.3. Обобщенная гидрокинематическая схема системы ГМУП

Повышенные требования к ПДМ по точности и быстродействию обусловливают необходимость проведения их динамического анализа на этапе проектирования, что позволяет сокращать время проведения испытаний и улучшать качество рабочих процессов реальных ГМУП. Моделирование динамических процессов в гидравлических системах обычно сопровождается некоторыми сложностями, связанными с поведением потока рабочей жидкости. Поэтому при формировании математической модели ГМУП, обобщенная гидрокинематическая схема которой представлена на рис.3, были приняты следующие допущения [4]:

- рабочая жидкость сжимаемая, капельная, в каналах присутствует нерастворенный воздух;
- силы вязкого трения в подвижных сопряжениях пропорциональны скорости;
- утечки малы и могут быть ограничены коэффициентом;
- трубопроводы короткие, гладкие, жесткие, что позволяет не учитывать волновые явления;
- динамические процессы рассматриваются при Qн=const, pн=const;
- коэффициент расхода управляющего устройства ГУК представлен аппроксимированной зависимостью от числа Рейнольдса μ=μ(Re), полученной методом проливки [5].

Исследование модели выполнено с использованием программной поддержки matlab.7.0.1 и её подсистемы моделирования динамических процессов simulink. Введение в модель динамической системы ГМУП уравнений, описывающих нелинейные изменения давлений p1 ,p2, при дросселировании потока в напорной и сливной гидролиниях заметно усложняет модель. Поэтому управляющие устройства, вращающийся распределитель, распределители P1,P2,P3 моделировались релейно, что допустимо при коротких управляющих гидролиниях связи (< 0,5м) и быстром срабатывании за 0,002…0,003 с.

Математическая модель, характеризующая динамическую систему ГМУП, представляет систему уравнений, описывающих поведение механической, гидравлической и управляющей подсистем в процессе позиционирования ПДМ.

1. Уравнения движения двухмассовой механической подсистемы:

$$I_1 \frac{d^2\varphi_1}{dt^2} = M_{ГМ} - M_{C1} - M_{1-2} - M_{ТЗ} - M_{BP};$$

$$I_2 \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} = -M_H - M_{C2} + M_{1-2}; \qquad (1)$$

$$M_{ГМ} = \frac{1}{2\pi} q_M (p1 - p2);$$

$$M_{C1} = M_{T1} sign \frac{d\varphi_1}{dt} + k_{BT} \frac{d\varphi_1}{dt};$$

$$M_{C2} = \mathrm{M}_{T2} sign \frac{d\varphi_2}{dt} + k_{BT} \frac{\mathrm{d}\varphi_2}{\mathrm{dt}};$$

$$M_{T3} = M_{T3}(t) = -M_{T3}(\max).(1-\exp(-\frac{t}{\tau}))\ ;$$

$$M_{1-2} = h(\frac{d\varphi_1}{dt} - \frac{d\varphi_2}{dt}) + C\cdot(\varphi_1 - \varphi_2)\ ; M_{BP} = M_{BP}(t),$$

где I_1, I_2 - моменты инерции ведущих и ведомых масс, кг*м^2 ; φ_1, φ_2 – координаты их угловых перемещений, рад; $M_{ГМ}$ -момент гидромотора, Н*м; M_{C1}, M_{C2} - моменты сил сопротивления, Н*м; M_{1-2} – упругий момент, Н*м; M_H – момент технологической нагрузки, Н*м; h, C – коэффициенты демпфирования и жесткости механической подсистемы; M_{BP} – момент вращающегося распределителя, Н*м; M_{T3} - тормозной момент, Н*м; $M_{T3}(\max)$ -максимальное значение тормозного момента; τ - постоянная времени нарастания тормозного момента; q_M - рабочий объем гидромотора, м^3 ; M_{T1}, M_{T2} -моменты сухого трения, Н*м;

2. Гидравлическая силовая подсистема с дроссельным управлением описывается уравнениями баланса расходов напорной и сливной линий [4]:

$$Qн=Qгм+Qп+\Sigma Qу+Qсж;\ Qгм+ Qп= Qгук+ Qсж, \qquad (2)$$

где *Qн* - расход гидронасоса; *Qгм*= $q_{M.\omega_1}$ - расход на вращение вала гидромотора; *ΣQу*= r_y .*рн* – расход на компенсацию утечек; *Qп*= r_n *(р1-р2)* – расход на перетечки рабочей жидкости; r_y, r_n - коэффициенты утечки и перетечки; Qсж= $\frac{q_м/2\pi + W_{1л}}{E_{CM}} * \frac{dp1}{dt}$ - расход на компенсацию деформируемого объема жидкости в полостях гидромотора и подводящих каналах; $E_{см} = \frac{E_{ж}}{1+\alpha_в \cdot \frac{E_{ж}}{E_в}}$ - модуль объемной упругости смеси жидкости и воздуха, Па; $E_в, E_{ж}$ - модули объемной упругости жидкости и воздуха; $\alpha_в$ - содержание воздуха в жидкости; *Wiл* - объем гидролиний соответственно M^3; $\frac{dp1}{dt}$ - приращение давления в напорной полости гидромотора; *Qгук* – расход, проходящий через гидроуправляемый клапан.

Расходы жидкости *Qз* через окна золотников распределителей, связывающие их изменение от перемещения золотника x_P и перепадами давлений Δp, определяются следующим выражением:

$$Qз = k_P . x_P . \sqrt{|\Delta p|}\cdot sign(\Delta p).$$

После подставления значений расходов (2) и преобразования получим следующие уравнения изменения давлений для указанных на рис.2 напорной и сливной гидролиний:

$$\frac{dp1}{dt}=\frac{k_{P2}\cdot E_{см}}{q_м+W_{1л}}\cdot x_{P2}\cdot\sqrt{|pн1-p1|}\cdot sign(pн1-p1)-\frac{q_м/2\pi\cdot E_{см}}{(q_м/2\pi+W_{1л})\eta_O}\cdot\omega_1-$$
$$-\frac{k_{P1}\cdot E_{см}}{q_м+W_{1л}}\cdot x_{P1}\cdot\sqrt{|p1-p51|}\cdot sign(p1-p51); \quad (2.1)$$

$$\frac{dp2}{dt}=-\frac{k_{P2}\cdot E_{см}}{q_м+W_{2л}}\cdot x_{P2}\cdot\sqrt{|p2-p3|}\cdot sign(p2-p3)+\frac{q_м/2\pi\cdot E_{см}}{(q_м/2\pi+W_{2л})\eta_O}\cdot\omega_1;$$

$$\frac{dp3}{dt}=\frac{k_{P2}\cdot E_{см}}{W_{3л}}\cdot x_{P2}\cdot\sqrt{|p2-p3|}\cdot sign(p2-p3)-\frac{k_{DR}\cdot E_{см}}{W_{3л}}\cdot x_{DR}\cdot\sqrt{|p3-p52|}\cdot sign(p3-p52)$$
$$-\frac{k_{ГУК}\cdot E_{см}}{W_{3л}}\cdot x_{ГУК}\cdot\sqrt{|p3-pc|}\cdot sign(p3-pc).$$

3. Управляющая подсистема реализуется контуром гидравлического управления, описываемым подмоделями вращающегося распределителя, управляющими гидролиниями и гидроуправляемым клапаном.

3.1. Уравнение движения золотника распределителя Р4, управляющего гидроуправляемого клапана:

$$m_{пр.P}\cdot\frac{d^2x_P}{dt^2}=S_P(\mathrm{p51-p5})-k_{BT}\cdot\frac{dx_P}{dt}-C_{пр}(x_0\pm x_p)-Ft\cdot sign\frac{dx_p}{dt}, \quad (4)$$

где $m_{пр.P}$ - приведенная масса золотника распределителя, кг; Ft - сила трения, Н; k_{BT} - коэффициент вязкого трения; $C_{пр}$ - жесткость пружины распределителя, Н/м; x_0 - предварительное натяжение пружины, м.

3.2 Уравнение движения золотника гидроуправляемого клапана:

$$m_{пр.ГУК}\cdot\frac{\mathrm{d}^2x_{ГУК}}{\mathrm{dt}^2}=\mathrm{p5.S_{ГУК}}-C_{пр}(x_0\pm x_{ГУК})-k_{BT}\frac{\mathrm{d}x_{ГУК}}{\mathrm{dt}}-Ft\cdot sign\frac{\mathrm{d}x_{ГУК}}{\mathrm{dt}}, \quad (5)$$

где $m_{пр.ГУК}$ - приведенная масса золотника клапана; $\mathrm{p5}$ – давление управления клапаном, Па; Ft - сила трения, Н; где $x_{ГУК}$ - перемещение золотника клапана, м; $k_{ГУК}=\mu_{ГУК}\cdot\pi\cdot d_з\cdot k_п\cdot\sqrt{\frac{2}{\rho}}$ - удельные (отнесенные к единице перемещения золотника) проводимости окон, открытых при смещении золотника ГУК; $\mu_{ГУК}$-коэффициент расхода золотника клапана; ρ - плотность рабочей жидкости; $d_з$ - диаметр

золотника, м; $k_п = \dfrac{b_{ок}}{\pi \cdot d_з}$ - коэффициент полноты использования периметра втулки золотника при размещении в ней окон; $b_{ок}$ - суммарная ширина всех окон, η_O - объемный КПД; r_y -коэффициент утечки; рн1,рн2 – давления, создаваемые насосами, Па; φ – угол поворота вала гидромотора, рад.

3.3. Уравнения управляющих сигналов:

$$\begin{aligned}
&\frac{dp5}{dt} = \frac{k_{P4} \cdot E_{см}}{x_{ГУК} \cdot S_{ГУК} + W_{5л}} \cdot x_{P4} \cdot \sqrt{|p5i - p5|} \cdot sign(p5i - p5) - \\
&- \frac{S_{ГУК} \cdot E_{см}}{x_{ГУК} \cdot S_{ГУК} + W_{3л}} \cdot V_{ГУК}; \\
&\frac{dp51}{dt} = \frac{k_{P1} \cdot E_{см}}{W_{51л}} \cdot x_{P1} \cdot \sqrt{|p1 - p51|} \cdot sign(p1 - p51) - \\
&- \frac{k_{P4} \cdot E_{см}}{W_{51л}} \cdot x_{P4} \cdot \sqrt{|p51 - p5|} \cdot sign(p51 - p5); \\
&\frac{dp52}{dt} = \frac{k_{DR} \cdot E_{см}}{W_{52л}} \cdot x_{DR} \cdot \sqrt{|p3 - p52|} \cdot sign(p3 - p52) - \\
&- \frac{k_{P4} \cdot E_{см}}{W_{52л}} \cdot x_{P4} \cdot \sqrt{|p52 - p5|} \cdot sign(p52 - p5); \\
&\frac{dp4}{dt} = \frac{k_{РГО} \cdot E_{см}}{x_{P3} \cdot S_{P3} + W_{4л}} \cdot x_{РГО} \cdot \sqrt{|pн2 - p4|} \cdot sign(pн2 - p4) - \\
&- \frac{S_{P3} \cdot E_{см}}{x_{P3} \cdot S_{P3} + W_{4л}} \cdot V_{P3} - \frac{k_{BP} \cdot E_{см}}{x_{P3} \cdot S_{P3} + W_{4л}} \cdot x_{BP} \cdot \sqrt{|p4 - p6|} \cdot sign(p4 - p6); \\
&\frac{dp6}{dt} = \frac{S_{P4} \cdot E_{см}}{x_{P4} \cdot S_{P4} + W_{6л}} \cdot V_{P4} - \\
&- \frac{k_{BP} \cdot E_{см}}{x_{P4} \cdot S_{P4} + W_{6л}} \cdot x_{BP} \cdot \sqrt{|p4 - p6|} \cdot sign(p4 - p6).
\end{aligned} \tag{6}$$

На рис.4 представлена осциллограмма вычислительного эксперимента процесса позиционирования планшайбы поворотно-делительного стола, а в табл.1 – количественные оценки параметров процесса. Осциллограмма отражает характер изменения управляющих воздействий Хр1, Хр5, Хр52,управляющих Х ГУК и вызываемые при этом изменения основных параметров ГМУП: р1,р2,ω1,ω2,ф1,ф2 на участках разгона tр, установившегося движения tу, замедления движения tз1 ,tз2 и останова tо.

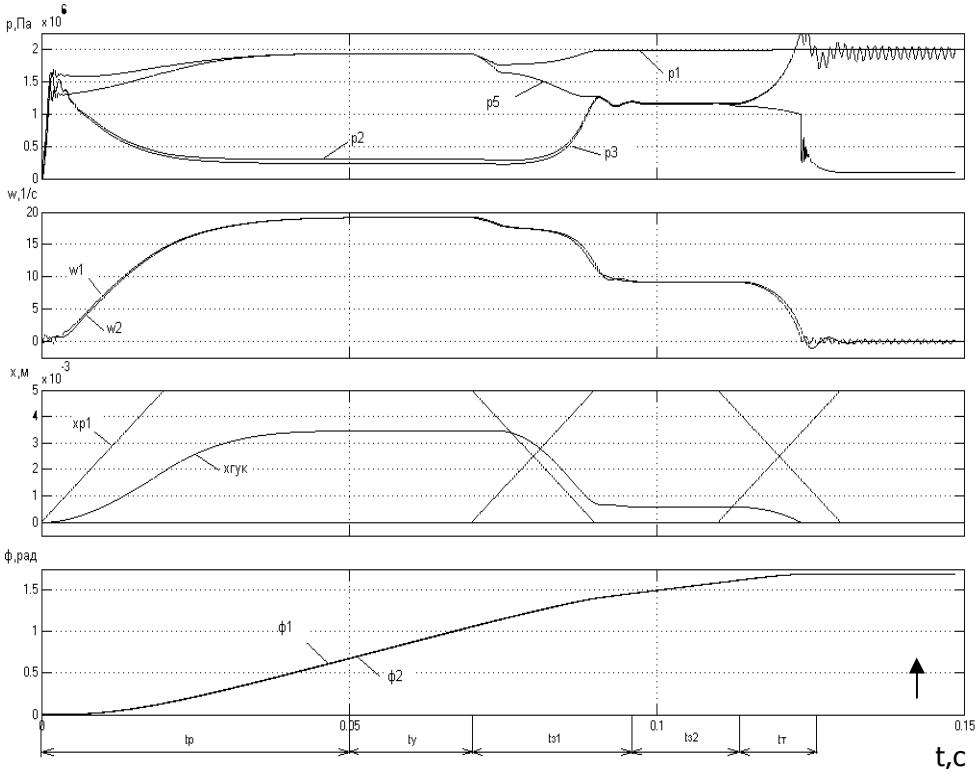


Рис.5. Осциллограмма вычислительного эксперимента

Таблица 1

Характеристики ГМУП

Характеристика ППМ	Способ позиционирования	$P_з$ МПа	ω1 рад/с	$M_{гм}$, Нм	$\varphi_{гм}$, рад	$\Delta\varphi_{гм}$, рад	$t_р$, с	$t_у$, с	$t_{з1}$, с	$t_{з2}$, с	$t_т$, с	$T_п$
i=1	В сливной линии	1,2	20	10	п/2	0,052	0,05	0,02	0,026	0,014	0,012	0.122

Изменением значений основных параметров ГМУП исследовали их влияние на точность позиционирования планшайбы поворотного стола. На рис.5 и 6 представлены зависимости выбега от противодавления на участке замедления и скорости позиционирования ω2 и результаты экспериментальной проверки. Отклонения не превышают 9-12%, что подтверждает адекватность модели и достоверность полученных результатов. При заданной точности позиционирования полученные зависимости позволяют определять зону устойчивого позиционирования поворотного стола и соответственно значения параметров ГМУП уже на этапе проектирования аналогичных механизмов, сокращая затраты времени и средств при создании новой или модернизации действующей станочных систем.

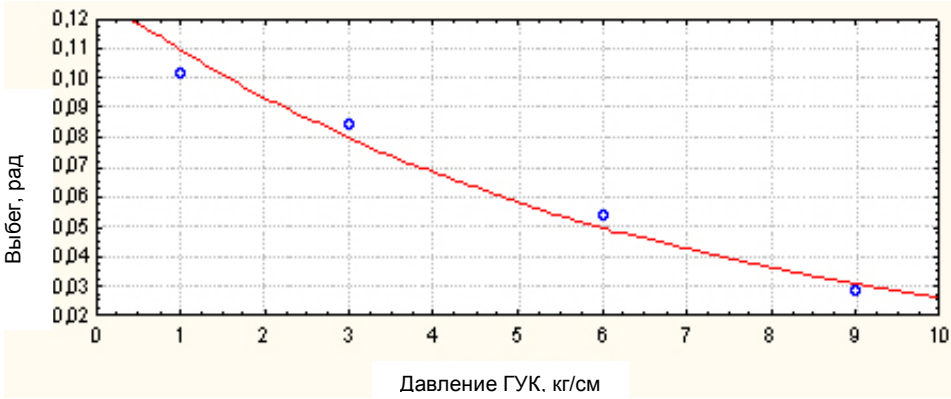


Рис.5. Зависимость выбега вала гидромотора от противодавления, создаваемого ГУК

Рис.6. Зависимость выбега вала ГМ от скорости позиционирования при моменте инерции I_2 =0.013кг.м²

Выводы. 1. Предлагаемая обобщенная модель динамической системы оригинального гидромеханического устройства позиционирования адекватно описывает процессы позиционирования поворотно-делительного механизма станка, позволяя определять его параметры на этапе проектирования, сокращая при этом затраты времени и сил.

2. Результаты моделирования использовали при ГМУП поворотно-делительного стола координатно-сверлильного станка, что подтверждает практическую значимость результатов моделирования.

Библиографический список

1. Сидоренко В.С. Синтез быстродействующих позиционирующих гидромеханических устройств / /СТИН. – 2003. – №8. – С.16-20.

2. Ракуленко С.В. Поиск рациональной структуры гидропривода по быстродействию и точности позиционирования/С.В.Ракуленко, А.М.Аль-Кудах, В.С.Сидоренко//Гидрогазодинамика, гидравлические машины и гидропневмосистемы: тр. Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф./ – М.: МЭИ, 2006. – С.183-186.

3. Сидоренко В.С. Гидромеханическое устройство позиционирования целевых механизмов станков повышенного быстродействия и точности/В.С.Сидоренко, А.М.Аль-Кудах: тр. VIII Междунар. науч.-техн. конф. по динамике технологических систем/ ДГТУ. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2007. – Т.II. – С.215-217.

4. Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: учебник для вузов /Д.Н.Попов. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э.Баумана, 2001. – 320 с.

5. Аль-Кудах А.М. Экспериментальное определение расходно-перепадных характеристик гидроуправляемого клапана позиционирования исполнительных механизмов станков и технических машин: матер. Междунар. науч.-техн. конф. (перспективные направления технологии машиностроения и металлообработки). – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – Т.II. – С.243-248.

Материал поступил в редакцию 8.10.08.

A.M. AL-QUDAH, V.S. SIDORENKO, V.I. GRISHENKO

POSITIONING PROCESS MODELING OF AUTOMATED MANUFACTURING EQUIPMENT ROTARY-DIVIDED MECHANISMS WITH HYDRAULIC LINES

Increasing the accuracy and high acting of positioning for technological machines and their mechanisms is of great importance. It is achieved by inventing and modification of hydro-mechanical devises with hydraulic connecting lines. In this statement the positioning process of such devises is modeling, relationships between velocity of hydraulic motor(executive mechanism), backpressure of brake valve and precise stopping is gained.

АЛЬ-КУДАХ А.М. (р.1969), аспирант кафедры «Гидравлика, ГПА и ТП» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (1993).
Тема кандидатской диссертации «Повышение быстродействия и точности поворотно-делительных механизмов гидрофицированных станочных систем».
Количество публикаций 6.

СИДОРЕНКО Валентин Сергеевич (р.1942), заведующий кафедрой «Гидравлика, ГПА и ТП» ДГТУ, доктор технических наук, профессор. Окончил РИСХМ (1964).
Тема докторской диссертации: «Синтез гидромеханических позиционирующих устройств металлообрабатывающего оборудования».
Опубликовано 140 научных работ, 18 авторских патентов.

ГРИЩЕНКО Вячеслав Игоревич (р.1984), аспирант кафедры «Гидравлика, ГПА и ТП» ДГТУ. Окончил ДГТУ (2006).
Тема диссертационной работы: «Структурно-параметрическое управление вспомогательными движениями станочных систем пневмогидравлическими позиционирующими устройствами».
Количество публикаций 5.

УДК 621.048.6.06

В.Г. ЛЕБЕДЕНКО

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ПАРАМЕТРОВ УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ДРОБЬЮ

Разработана система теоретических моделей формирования параметров качества поверхностного слоя деталей при дробеструйной обработке, прошедшая экспериментальную проверку. Данные модели могут быть использованы для повышения эффективности упрочняющей обработки дробью на стадии технологического проектирования.
Ключевые слова: *дробеструйная обработка, установившаяся шероховатость, максимальная глубина внедрения, глубина упрочненного слоя, степень упрочнения.*

Введение. Обработка дробью (ОД) относится к методам отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностно-пластическим деформированием (ППР). Обработка дробью осуществляется ударами дроби по деформируемому материалу и используется для упрочнения деталей и инструментов сложной формы, а также для обработки деталей, имеющих малую жесткость, а также для очистки деталей от окалины, нагара, остатков формовочной смеси на отливках, очистки сварных швов, удаления заусенцев и т.п.

Эффект, достигаемый при ОД, обеспечивается за счет упрочнения поверхностного слоя, создания в поверхностном слое детали сжимающих остаточных напряжений, однородной текстуры металла и специфической микрогеометрии, свойственной всем методам обработки гибкой рабочей средой.

Процесс обработки дробью включает две группы методов:

- дробеударная обработка (ДО), объединяющая методы обработки ППД сухой дробью – дробеструйный, дробеметный, гравитационный, пневмодинамический наклеп, беспыльная ДО;

- гидродробеударная обработка (ГДО), включающая методы упрочнения дробью с применением СОЖ – пневмогидродробеструйный, гидродробеструйный, гидродробеметный наклеп, упрочнение микрошариками.

В настоящее время дробью обрабатывают клапанные пружины, рессоры автомобилей, шестерни коробок передач и заднего моста (конические и цилиндрические), пружины подвески, лонжероны, всевозможные валы, полуоси, штанги, шатуны, поршневые пальцы, звенья цепей, поршни, картеры, блоки цилиндров, гильзы, втулки, подшипники, режущий инструмент, штампы и др. Также обработка дробью находит широкое применение в авиастроении для повышения надежности различных элементов несущих конструкций, особенно работающих в условиях вибрации.

Обработка дробью по сравнению с другими видами поверхностного упрочнения имеет ряд технологических и экономических преимуществ. Наиболее важными из них являются высокая производительность, низкие затраты на оборудование, удобство в эксплуатации, значительная эффективность процесса, возможность обработки деталей разнообразных форм и размеров, возможность автоматизации процесса обработки, возможность одновременной обработки заготовок большими партиями, обеспечение стабильного качества поверхности. Необходимо также отметить возможность использования в качестве рабочей среды частиц различной формы и материалов в зависимости от вида обработки. Так, при упрочнении поверхностного слоя чаще всего используются стальные шарики подшипников качения и чугунная литая дробь, при очистке деталей – чугунная литая дробь, куски рубленой стальной проволоки и вишневая косточка, а в случае необходимости улучшения геометрических параметров поверхности – стальные шарики подшипников качения. Все вышесказанное обусловило широкое распространение этого метода упрочнения и очистки в промышленности.

Постановка задачи. Несмотря на широкое распространение методов обработки дробью, имеющиеся результаты, полученные рядом исследователей, недостаточно полно описывают процесс, носят эмпирический характер или рассматривают частные вопросы. Нет сведений по выбору технологических режимов применительно к процессу достижения заданных параметров поверхностного слоя (шероховатость поверхности, глубина упрочненного слоя, остаточные напряжения), практически не изучено влияние механических характеристик материала. Из выполненных исследований наибольший интерес в этой области представляют работы М.М.Саверина, В.В.Петросова, Б.П.Рыковского.

При исследовании основных технологических параметров обработки дробью одним из важнейших является вопрос теоретического моделирования процесса единичного взаимодействия частиц рабочей среды с поверхностью обрабатываемой детали. Разработка теоретических зависимостей, описывающих форму и размеры следов обработки, позволит в дальнейшем перейти к теоретико-вероятностному описанию распределения следов на поверхности детали, что в свою очередь даёт возможность разработать модель формирования профиля шероховатости и физико-механических свойств поверхности детали.

Содержание и результаты исследований. Процесс единичного взаимодействия рассматривался во многих работах, так как он является основополагающим. Исследования показывают, что при гидродробеструйной обработке частицы рабочей среды соприкасаются с поверхностью детали под различными углами. Поэтому изначально для построения модели единичного взаимодействия, адекватно описывающей процесс обработки дробью, целесообразно рассмотреть случай косого соударения. В большинстве случаев при гидродробеструйной обработке деталей используются стальные шары, поэтому для упрощения схемы взаимодействия примем, что рабочей частицей является гладкая жесткая сфера. Примем также, что диаметры всех шаров одинаковы. Кроме того, не будем учитывать трение шарика при скольжении по поверхности при внедрении, возможное перекатывание исключим.

Взаимодействие жёсткого шарика с деформируемым полупространством описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot \dfrac{d^2 h}{dt^2} = -P_N; \\ m \cdot \dfrac{d^2 x}{dt^2} = -P_\tau, \end{cases} \quad (1)$$

где m – масса шарика, $m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho_ш$; $\rho_ш$ – плотность материала шарика; t – время; P_N – нормальная составляющая силы взаимодействия; P_τ – касательная составляющая силы взаимодействия.

Решение первого уравнения системы (1) можно найти, используя известное соотношение из теории пластического контакта гладкого сферического индентора с деформируемым полупространством [5]:

$$P_N = \pi R_{сф} h c \sigma_s,$$

где $R_{сф}$ – радиус сферического индентора; h – глубина внедрения сферического индентора; c – коэффициент несущей способности контактной поверхности, учитывающий упрочнение материала детали при внедрении индентора; σ_s - предел текучести материала детали.

Используя методику, приведенную в работе [2], и с учетом фактической площади контакта шарика с поверхностью детали преобразованное уравнение для глубины внедрения можно представить в виде:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{\pi \cdot R \cdot h \cdot k_s \cdot c \cdot \sigma_s}{m}, \quad (2)$$

где R – радиус шарика; k_s - коэффициент, учитывающий влияние шероховатости поверхности детали на площадь фактического контакта.

Подставив выражение массы m через плотность и радиус шара, получим:

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{3}{4} \frac{k_s \cdot c \cdot \sigma_s \cdot h}{\rho_ш \cdot R^2}.$$

Откуда, учитывая, что при $t = 0$, $h = 0$ и $\frac{dh}{dt} = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha$, получим:

$$\frac{dh}{dt} = \pm \sqrt{\upsilon_0 \cdot \sin\alpha - \frac{3}{4} \cdot \frac{k_s \cdot c \cdot \sigma_s}{\rho_ш \cdot R^2} \cdot h^2}. \quad (3)$$

Из гидродинамики известно, что скорость полета шарика в струе жидкости можно определить по зависимости:

$$\upsilon_0 = 4 K_T \sqrt{P_{дин}}, \quad (4)$$

где $P_{дин}$ – динамическое давление технологической жидкости или воздуха на выходе из сопла; K_T – коэффициент потерь, учитывающий расстояние до обрабатываемой детали и плотность потока шариков; K_T определяется экспериментально.

Таким образом, интегрируя уравнение (3) при $h=h_{max}$, $\frac{dh}{dt} = 0$ и учитывая зависимость (4), получим максимальную глубину внедрения шарика:

$$h_{\max} = 8 \cdot K_T \cdot R \cdot \sin\alpha \cdot \sqrt{\frac{P_{дин} \cdot \rho_ш \cdot k_ш}{3 \cdot k_s \cdot c \cdot \sigma_s}}, \qquad (5)$$

где α – угол соударения шарика с поверхностью детали.

Пластическое деформирование поверхности детали при отделочно-упрочняющей обработке дробью происходит при многократном взаимодействии с ней стальных полированных шариков.

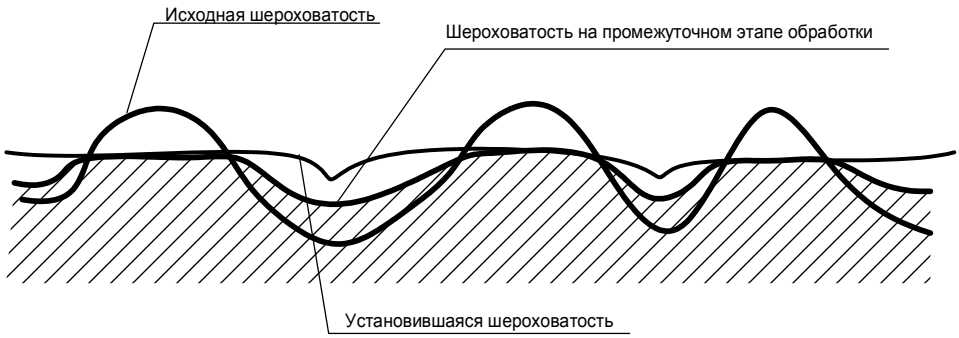


Рис.1. Образование профиля установившейся шероховатости

В начальный момент времени образуются единичные лунки с поперечной шероховатостью, зависящие от параметров исходного профиля. В дальнейшем, вследствие наложения и пересечения единичных следов (лунок), появляется новый определенный микрорельеф поверхности, характеризующийся однородностью свойств по всем направлениям. При продолжении процесса обработки он постоянно воспроизводится, а его параметры не будут изменяться в некоторый промежуток времени (вплоть до наступления перенаклёпа поверхности). Образованный таким образом микрорельеф, который определяется только технологическими режимами, размерами шариков и физико-механическими свойствами материала детали предложено считать *установившейся шероховатостью* [4]. Дальнейшего улучшения шероховатости поверхности можно достичь изменением динамического давления $P_{дин}$, расстояния до поверхности детали или заменой рабочей среды.

Известно, что пятно контакта шарика будет представлять собой близкий к окружности эллипс либо окружность с радиусом *r*. Величину радиуса *r* можно определить из геометрической схемы внедрения шарика в поверхность детали:

$$r = \sqrt{R^2 - \left(R - h_{\max}\right)^2}. \qquad (6)$$

Определив параметры единичного взаимодействия и используя теоретико-вероятностную схему формирования профиля шероховатости обработанной поверхности, предложенную профессором А.В. Королевым, можно получить значение среднего арифметического отклонения установившейся шероховатости

$$Ra_{уст} = 0.009 \cdot \frac{r}{R} \sqrt{h_{\max} \cdot l_{ед}} \,, \qquad (7)$$

где $l_{ед}$ - единица длины нормального сечения детали; $l_{ед}$ введена при выводе зависимости (7) в соответствии с методикой, предложенной А.В.Королевым; для расчетов $l_{ед}$ принимается 1 м.

При решении технологических задач отделочно-упрочняющей обработки важное значение имеет аналитический расчет ожидаемого значения глубины упрочненного слоя и степени упрочнения. От глубины упрочненного слоя $h_н$ зависят многие эксплуатационные свойства деталей, например, усталостная прочность. Величина $h_н$ определяет зону поверхностного слоя, в которой имеются остаточная деформация зерен и высокая плотность дислокаций кристаллической решетки, образованные в результате приложения внешней нагрузки. Под степенью упрочнения ε понимается отношение радиуса лунки (отпечатка), образованного в результате внедрения индентора к радиусу этого индентора [3]. Степень упрочнения характеризует приращение микротвердости поверхностного слоя детали в результате ударного воздействия. Аналитическое определение глубины упрочненного слоя и степени упрочнения в зависимости от физико-механических свойств материала детали и параметров процесса является очень сложной задачей. Существующие математические зависимости, выведенные несколькими авторами, были получены на основе теории упругости или пластичности после принятия многочисленных упрощений и допущений.

Значительные исследования в этой области проведены И.В. Кудрявцевым, В.П. Пшибыльским, Е.Г. Коноваловым, Д.Д. Папшевым, М.М. Савериным и др.

В работе Кудрявцева И.В. [3] приведены зависимости для определения глубины наклепанного слоя и степени упрочнения в зависимости от характеристик следа единичного взаимодействия:

$$h_н = 3kr \,, \quad \varepsilon = \frac{r}{R} \,, \qquad (8)$$

где k - коэффициент, зависящий от степени наклепа [3].

После некоторых преобразований выражений (8), учитывая зависимость (5), глубину упрочненного слоя и степень упрочнения при ОД можно определить по формулам:

$$h_н = 3k\sqrt{h_{\max}(2R - h_{\max})} \,; \qquad (9)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{h_{\max}}{R} \cdot (2 - \frac{h_{\max}}{R})} \,. \qquad (10)$$

Для анализа влияния размеров обрабатывающей среды, режимов обработки и механических свойств обрабатываемого материала на величину среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости *Ra*, глубину упрочненного слоя $h_н$ и степень упрочнения ε по зависимостям (7), (9) и (10) были произведены расчеты, результаты которых представлены на рис. 2-7.

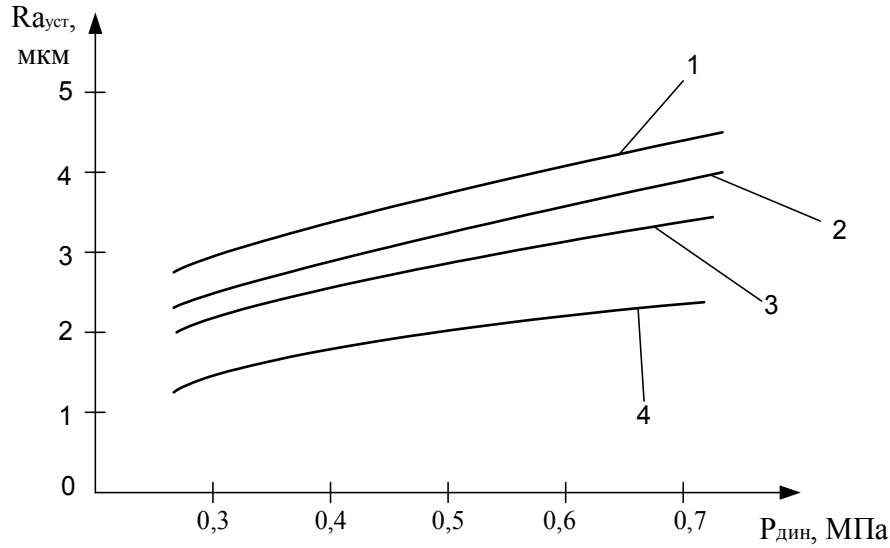


Рис.2. Теоретическая зависимость среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ при дробеструйной обработке различных материалов от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$: 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s = 260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s=350 МПа; 3 – алюминиевый сплав В95, σ_s=450 МПа; 4 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

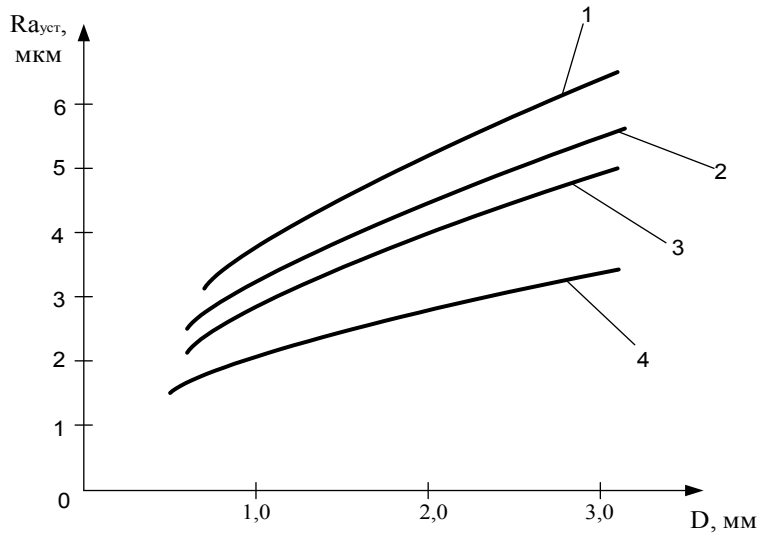


Рис.3. Теоретическая зависимость среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ при дробеструйной обработке различных материалов от диаметра шариков D: 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s = 260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s = 350 МПа; 3 – алюминиевый сплав В95, σ_s=450 МПа; 4 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

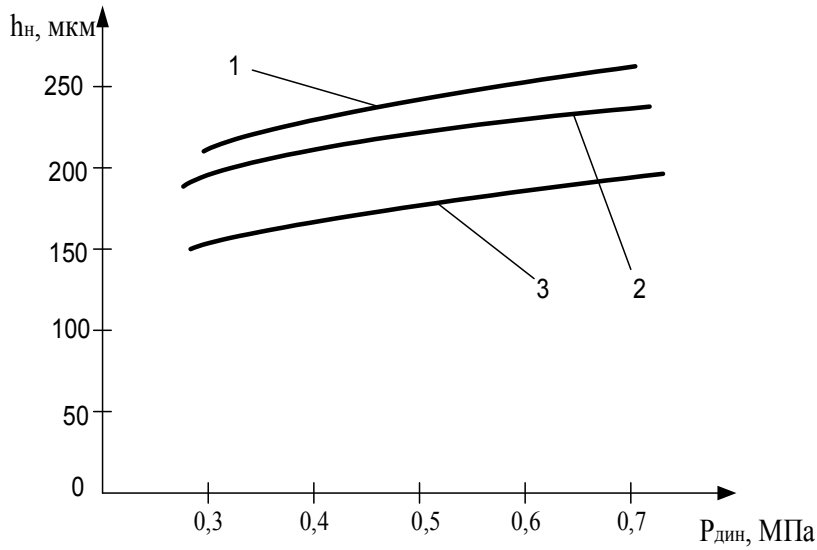


Рис.4. Теоретическая зависимость глубины упрочненного слоя $h_н$ при дробеструйной обработке различных материалов от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$: 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s=260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s=350 МПа; 3 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

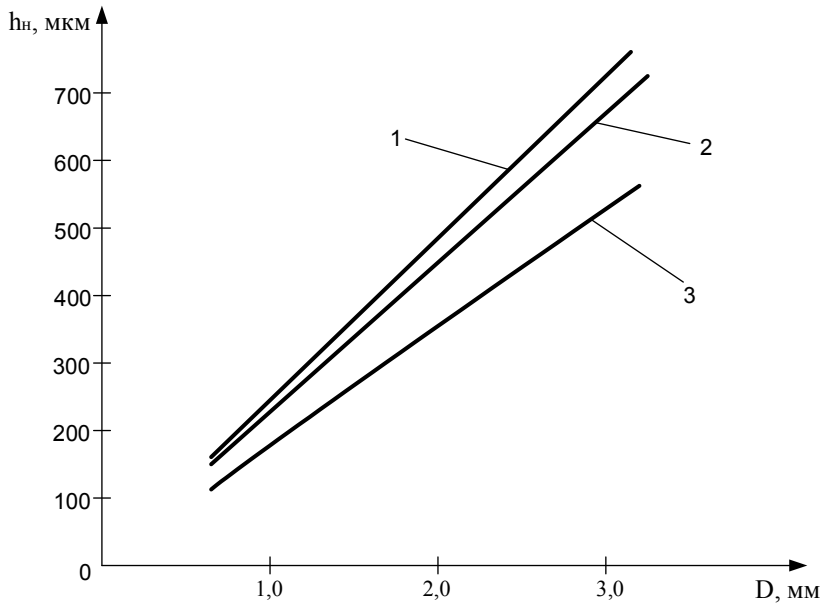


Рис.5. Теоретическая зависимость глубины упрочненного слоя $h_н$ при дробеструйной обработке различных материалов от диаметра шариков *D:* 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s = 260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s = 350 МПа; 3 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

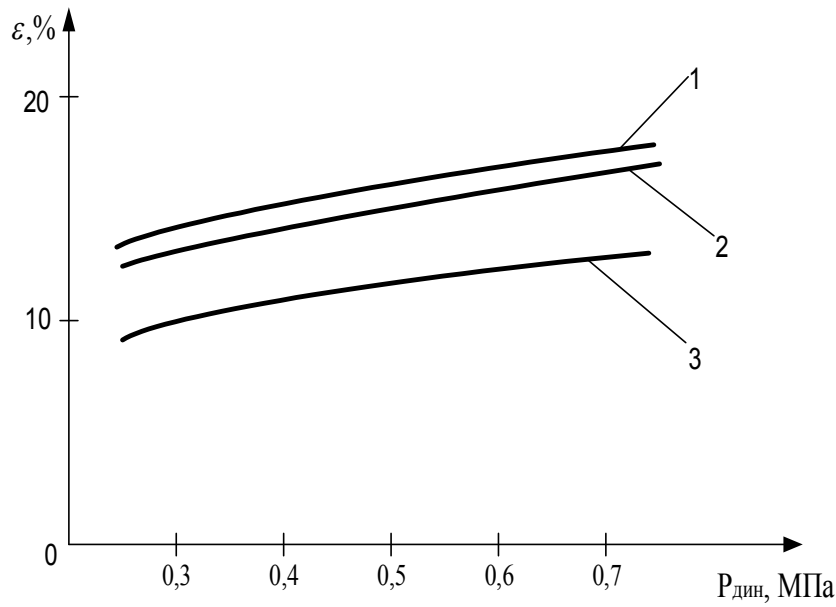


Рис.6. Теоретическая зависимость значения степени упрочнения ε при дробеструйной обработке различных материалов от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$: 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s=260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s=350 МПа; 3 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

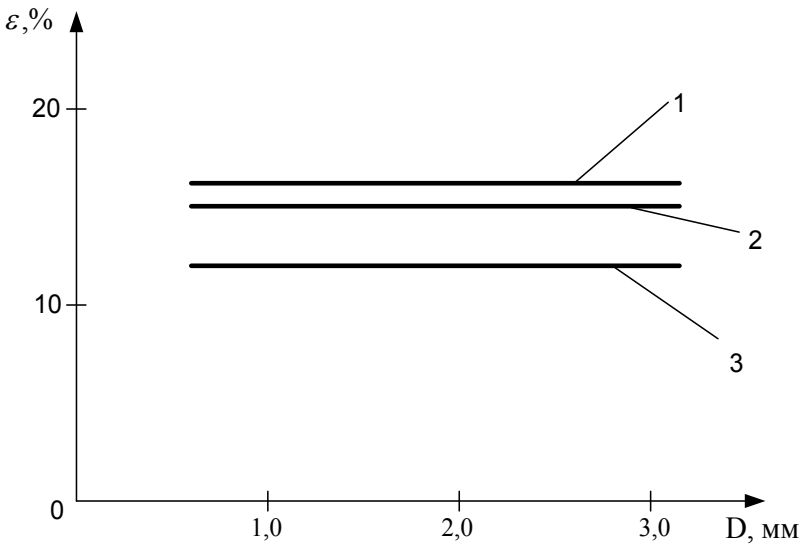


Рис.7. Теоретическая зависимость значения степени упрочнения ε при дробеструйной обработке различных материалов от диаметра шариков *D:* 1 – алюминиевый сплав Д16, σ_s = 260 МПа; 2 – сталь 45, σ_s = 350 МПа; 3 – сталь 40ХН2МА-Ш, σ_s = 930 МПа

Для сравнения теоретических и экспериментальных исследований зависимости среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$, глубины упрочненного слоя $h_н$ и степени упрочнения ε от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$ при дробеструйной обработке специально подготовленных образцов из стали 40ХН2МА-Ш были проведены экспериментальные исследования процесса в условиях ОАО «Ростверстол» на гидродробеструйной установке ГНЛ-15. При обработке использовались стальные полированные шарики диаметром 1 мм, давление технологической жидкости на выходе из сопла $P_{дин}$ менялось от 0,3 МПа до 0,6 МПа.

Результаты экспериментальных исследований в сравнении с теоретическими приведены на рис. 8-10.

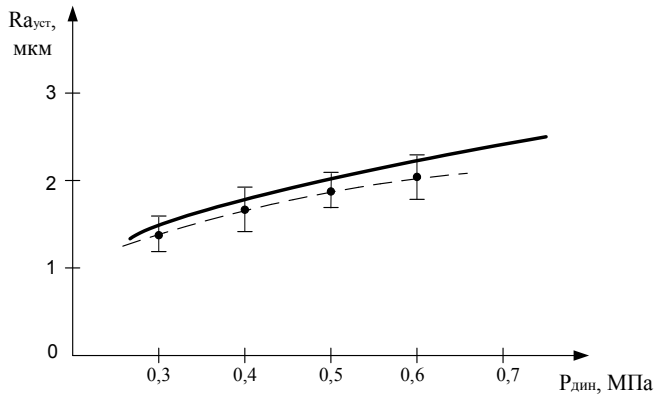


Рис.8. Сравнение теоретических и экспериментальных исследований зависимости среднего арифметического отклонения профиля установившейся шероховатости $Ra_{уст}$ при дробеструйной обработке стали 40ХН2МА-Ш от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$:

———— теоретическая зависимость;

— — — — — экспериментальная зависимость

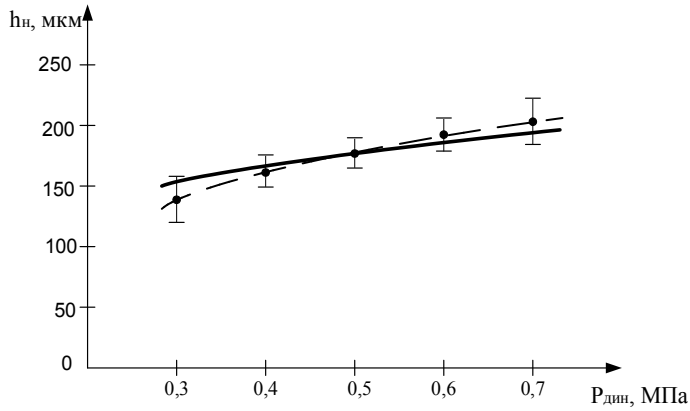


Рис.9. Сравнение теоретических и экспериментальных исследований зависимости глубины упрочненного слоя $h_н$ при дробеструйной обработке стали 40ХН2МА-Ш от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$:

———— теоретическая зависимость;

— — — — — экспериментальная зависимость

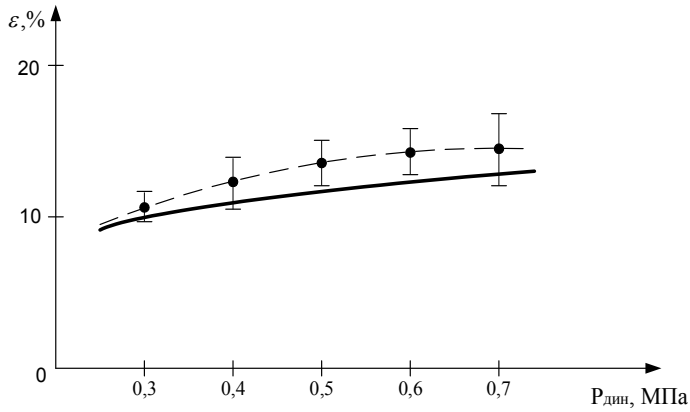


Рис.10. Сравнение теоретических и экспериментальных исследований зависимости степени упрочнения ε при дробеструйной обработке стали 40ХН2МА-Ш от давления технологической жидкости (воздуха) на выходе из сопла $P_{дин}$:

——— теоретическая зависимость;

— — — — — экспериментальная зависимость

Анализируя результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований, можно заключить следующее:

1. Применение обрабатывающей среды (шариков, дроби) меньшего размера, а также уменьшение давления пульпы позволяет получить более гладкую шероховатость поверхности.
2. При обработке материалов с меньшим пределом текучести σ_s образуется более грубая шероховатость.
3. Глубина упрочненного слоя увеличивается при обработке более мягкого материала, при увеличении динамического давления пульпы (увеличении скорости движения частиц обрабатывающей среды), а также при увеличении размеров частиц обрабатывающей среды.
4. Степень упрочнения при дробеструйной обработке увеличивается при увеличении энергии воздействия частиц обрабатывающей среды ($P_{дин}$), а также при обработке более мягких материалов.
5. Размер частиц обрабатывающей среды никак не влияет на степень упрочнения при дробеструйной обработке.
6. Полученные результаты имеют физический смысл и не противоречат установившимся представлениям о процессе дробеструйной обработки.
7. При сравнении результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов установлено, что расхождение между ними не превышает 20%.

Выводы. Разработаны и экспериментально подтверждены комплексная система теоретических моделей обработки дробью и методика расчета размеров следов единичного взаимодействия, позволяющая прогнозировать шероховатость поверхности, глубину упрочненного слоя и степень упрочнения с учетом влияния режимов обработки, характеристик рабочих сред и свойств материала детали при дробеструйной обработке. Полученные зависимости могут быть использованы для повышения эффективности упрочняющей обработки дробью на стадии технологического проектирования.

Библиографический список

1. Рыковский Б.П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом /Б.П.Рыковский и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 152 с.
2. Непомнящий Е.Ф. Трение и износ под воздействием струи твердых сферических частиц // Контактное взаимодействие твердых тел и расчет сил трения и износа. – М.: Наука, 1971. – С.190-200.
3. Кудрявцев И.В. Повышение прочности и долговечности крупных тяжелых деталей машин поверхностным наклепом /И.В.Кудрявцев и др. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. – 144 с.
4. Тамаркин М.А. Теоретические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами: дис… докт. техн. наук /М.А.Тамаркин. – Ростов н/Д, 1995.
5. Михин Н.М. Внешнее трение твёрдых тел /Н.М.Михин. – М.: Наука, 1977. – 222 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.08.

V.G.LEBEDENKO

THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF PROCESS OF FORMATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE SUPERFICIAL LAYER AND HARDENING AT PROCESSING DETAILS IN FRACTION.

The system of theoretical models past experimental check is developed. The given models can be used for increase of efficiency of strengthening processing in fraction at a stage of technological designing.

ЛЕБЕДЕНКО Вячеслав Георгиевич (р.1975), ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (1998) по специальности «Технология машиностроения». Занимается исследованием процесса обработки дробью с учетом обеспечения безопасных условий труда оператора.
Опубликовано более 20 научных статей.

УДК 502.173

Ю.А. БАТИЩЕВ, В.И. КОСТЕНКО, В.В. ДУДНИК

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫМ И ЭКОЛОГИЧЕСКИМ МОНИТОРИНГОМ РЕГИОНА

Сформулированы принципы построения и функционирования системы мониторинга. Описаны технические средства, обеспечивающие комплексный контроль за изменением состояния земли и приземной атмосферы. Указываются способы представления выходной информации и области её потенциального использования.
Ключевые слова: *система мониторинга, информационный центр, модуль, бортовая система дистанционного зондирования.*

Введение. Одной из наиболее актуальных проблем современной России является стабилизация ее социально-экономического положения, переход к устойчивому развитию и, как следствие, становление в ряды высокоразвитых цивилизованных государств. Её решение во многом зависит от ситуации, складывающейся в регионах – субъектах федерации, которые в последние годы приобретают все большую хозяйственную и финансовую самостоятельность в управлении природопользованием, состоянии окружающей среды и здоровья населения.

Необходимым условием эффективного управления является обеспечение лиц, принимающих решения (ЛПР) на региональном уровне, объективной и полной информацией о текущем состоянии и прогнозе развития процессов. Действенным инструментом в решении задач информационной обеспеченности ЛПР может служить региональная система мониторинга и поддержки принятия управленческих решений (далее для краткости Система), построенная на базе средств малой авиации и наземного контроля [1], информация с которых обрабатывается в региональных центрах, входящих в структуру Системы. Выходная информация Системы – карты состояния сельхозугодий, лесов, воздушного и водного бассейнов, геологии, почв и др., прогнозные сценарии развития экономической, экологической, демографической ситуации и т.п. - используются в управлении соответствующими процессами с последующим отслеживанием результата, замыкая, тем самым, цикл регулирования с обратной связью. Несмотря на то, что элементы цикла регулирования, т.е. мониторинга и поддержки принятия управленческих решений, по отдельности реально существуют, их стыковка и отладка, а также оценка эффективности решаемых с помощью предлагаемой Системы задач требуют подтверждения.

Предполагается, что пользователями Системы будут руководители администраций субъектов РФ, мэры городов, руководители региональных отраслевых управлений и комитетов, директора и менеджеры крупных промышленных предприятий.

Цель настоящей работы состоит в описании принципов построения Системы и в дальнейшем ее эксплуатации в регионах Южного федерального округа (ЮФО).

Состояние проблемы и пути ее решения. Эффективное управление сложными системами (причем территориальные образования, каковыми являются российские регионы, многократно сложнее любых технических систем) базируется исключительно на современных информационных технологиях, используемых в рамках кибернетического подхода, предусматривающего формирование замкнутого цикла автоматического регулирования с обратной связью. И сегодня мы видим все эти атрибуты управления хозяйственными, природно-ресурсными и социальными процессами в регионах, однако назвать его оптимальным или даже просто рациональным, к сожалению, невозможно, поскольку цикл регулирования является "вялым", решения по управлению принимаются, зачастую, с опозданием, произвольно и т.п.

Естественно, это не вина регионов, а их беда: не хватает финансовых средств, сказывается наследие командно-административного управления, отсутствие научно обоснованной концепции и соответствующего персонала. К слову сказать, и на Западе задачи регионального управления решаются не намного лучше, но уже по другим причинам. Вместе с тем для России эти задачи даже более актуальны из-за постоянно ухудшающейся социально-экономической и экологической обстановки в стране. Возможности же их решения реально существуют. Например, в стране имеется уникальный набор теоретических, методических, технических и программных разработок в области создания систем и аппаратных комплексов дистанционного и наземного экологического мониторинга, телекоммуникационных систем, систем тематической обработки информации и поддержки принятия управленческих решений с использованием самых современных технологий. Однако, надо сказать, что они не объединены в единую структуру на базе применения системного подхода, чему, возможно, способствовал ряд объективных и субъективных причин: ведомственная разобщенность, отсутствие достаточных финансовых средств и др. Не следует сбрасывать со счетов и сложность решаемой проблемы.

Что же в таком случае предлагается? В стратегическом плане – это создание сети региональных информационных систем мониторинга и поддержки принятия решений по управлению природопользованием, состоянием окружающей среды и здоровья населения, связанных между собой и с федеральными органами власти линиями телекоммуникаций. В тактическом плане – создание региональной информационной структуры мониторинга/управления территориями.

Принципы построения и функционирования системы. Система строится на основе следующих принципов [1].

Иерархичность. Система имеет выраженную иерархическую структуру, т.е. состоящую из двух уровней: верхнего, охватывающего регион в целом, и нижнего, состоящего из множества локальных подсистем мониторинга/управления (на уровне города, района). Эти уровни нашли соответствующую реализацию в виде высотной "этажерки".

Отметим, что региональный уровень иерархии Системы является промежуточным, поскольку входит в состав федерального уровня, который, в свою очередь, является составной частью аналогичной глобальной системы (рис. 1).

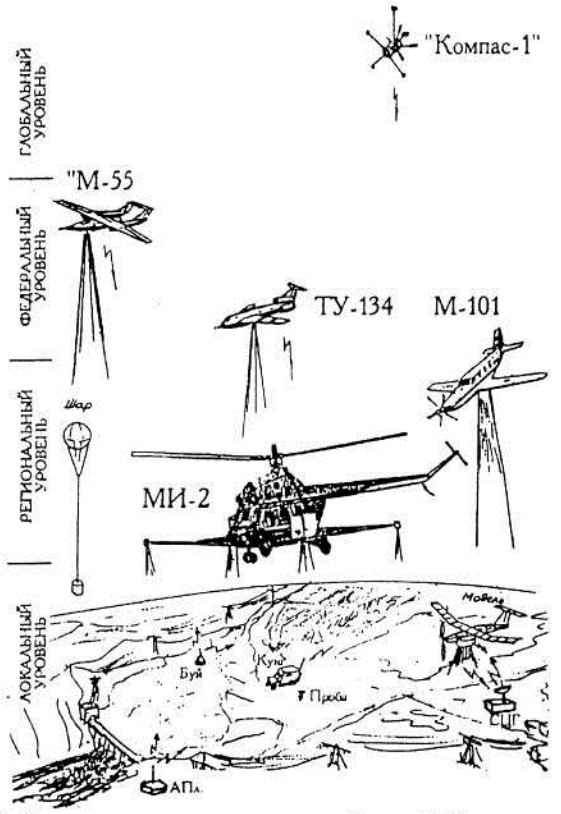


Рис. 1. Структура системы мониторинга Земли:
СЦГ – ситуационный центр губернатора;
Апо – автоматическая платформа

Обмен данными как внутри иерархических уровней, так и между ними, осуществляется с помощью средств телекоммуникационной сети.

Открытость. Это свойство Системы означает, что она допускает возможность постоянного обновления и наращивания без каких-либо принципиальных переделок, работу с различными типами данных, базами данных, моделями, экспертными знаниями, а также с различными типами программных средств, сенсоров, аэрокосмических и наземных платформ. В противном случае Система рискует стать со временем устаревшей.

Нацеленность на конечный результат. Этот принцип приобрел особую значимость с момента перехода экономики страны на рыночные отношения. В самом деле, сегодня потенциальному пользователю не нужны какие-либо промежуточные результаты, которыми он не сможет оперативно воспользоваться. Не случайно так быстро прошел бум на цветные снимки Земли из космоса, поскольку без чрезвычайно сложной тематической обработки они становятся практически бесполезными, годными лишь для украшения высоких кабинетов.

Постоянный режим работы. Этот принцип, заложенный в основу функционирования Системы, является необходимой характеристикой. В отличие от режима "пожарной команды" предлагаемая Система позволяет полностью использовать весь накопленный ранее опыт по решению задач

мониторинга/управления (экономического, экологического, эпидемиологического и др., в том числе в аварийных и катастрофических ситуациях), а также сформированные ранее базы данных и знаний. Это гарантирует потенциальным пользователям Системы, что в конечном итоге она станет самоокупаемой.

Подсистема мониторинга и ее конфигурация. Предназначена для сбора, экспресс-анализа и передачи в региональные центры предварительной и тематической обработки данных дистанционного и наземного мониторинга. Система строится по иерархическому принципу, соответственно уровню иерархии должны подбираться и средства наблюдения. Для собственно регионального мониторинга таким основным средством служит малая авиация (вертолет и самолет) с характерными для нее возможностями по высоте и скорости полета, радиуса действия и т.п. Региональный уровень включает в себя также средства более низкого – локального уровня наблюдения: беспилотные летательные аппараты, шары, наземные передвижные и стационарные пункты, платформы и буи, соответствующие подсистемы обработки и распространения информации (линии связи).

Подсистема мониторинга входит в состав замкнутого цикла управления регионом. Таким образом, данные мониторинга используются в процедурах поддержки принятия решений, направленных на изменение состояния природопользования и экологии, которое бы удовлетворяло заданным требованиям заказчика – потенциального потребителя (рис.2).

Подсистема комплексного регионального мониторинга и управления создается, на первом этапе, на базе легкого вертолета Ми-2. Она предназначается для глав администраций регионов, мэров городов, руководителей и/или владельцев крупных промышленных объектов.

Адекватное оснащение подсистемы отечественным приборным комплексом стало возможным благодаря тому, что на основе научно-технических разработок в области наукоемких технологий, в том числе в аэрокосмической отрасли и атомной энергетике, создана уникальная по своим возможностям, компактности и надежности измерительная аппаратура, устанавливаемая на различных носителях (ИСЗ, самолеты, вертолеты, наземные буи и автоматические платформы), что позволило разработать:

- постоянно действующую, дешевую, а соответственно, доступную для региональных и других пользователей подсистему природоресурсного и экологического мониторинга, базирующегося на средствах малой авиации (вертолетах типа Ми-2, самолетах типа М-101) в сочетании с перспективами использования микроспутников типа "Компас-1" [2];
- мобильную подсистему, в которой основная часть измерительной аппаратуры монтируется в съемных контейнерах, что позволяет быстро менять набор аппаратуры в зависимости от задач и освобождать от неё носитель (вертолет, самолет и т.п.) для использования в других целях;
- надежную подсистему, так как в ней использована аппаратура, предназначенная для установки на космических объектах и работы в экстремальных условиях.

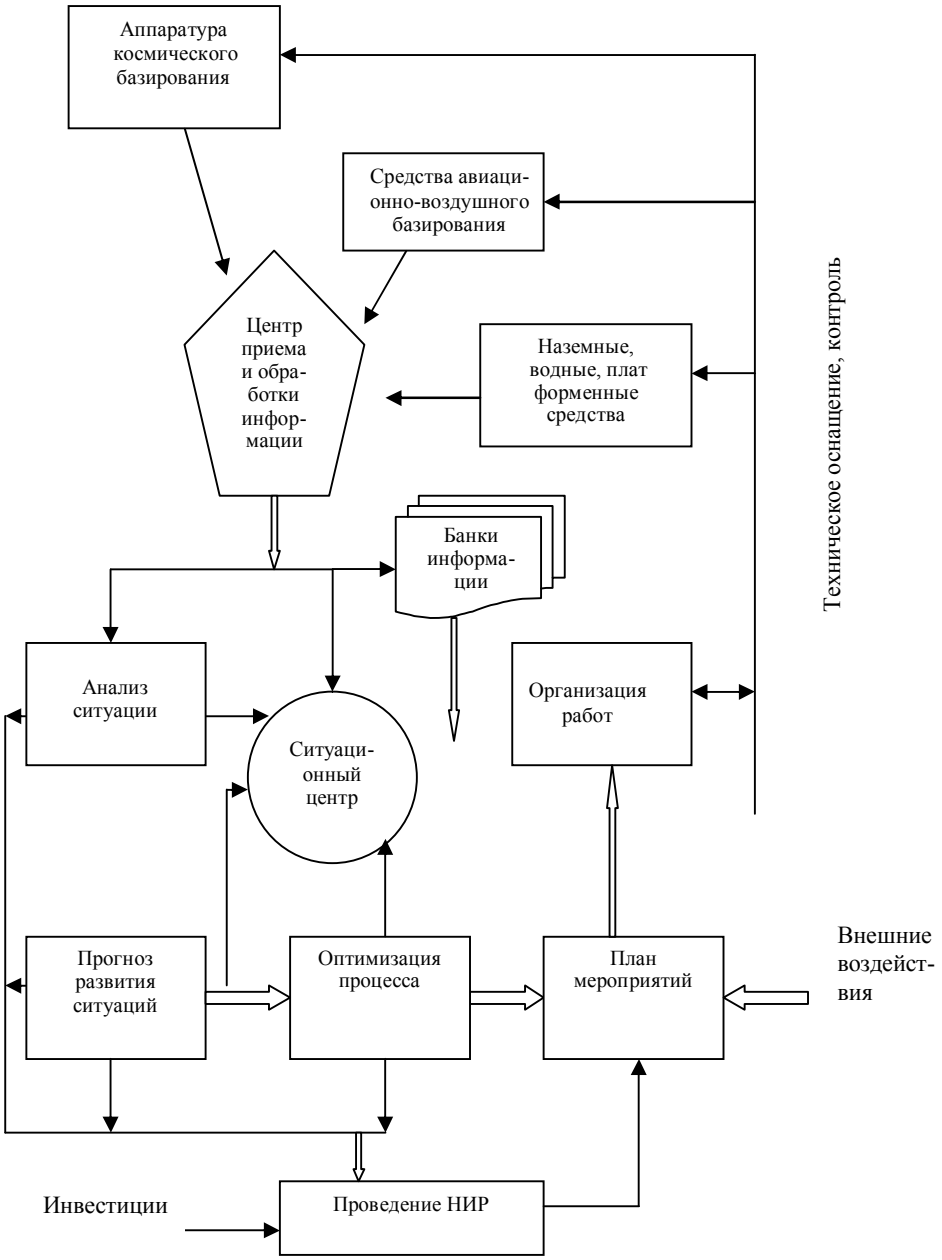


Рис.2. Региональная система управления природопользованием, состоянием окружающей среды и здоровья населения по данным аэрокосмических и наземных наблюдений

В полном составе подсистема мониторинга включает следующие структурные элементы:

- сбор и экспресс-анализ информации, получаемой с помощью комплекса бортовой аппаратуры, включающего в себя сенсоры дистанционного зондирования оптического и микроволнового диапазонов, магнито-

метр, датчики элементного состава воздуха и ионизирующего излучения, а также систему определения местоположения носителя GPS-ГЛОНАС;

- наземный сбор информации;
- предварительная обработка и нормализация информации с выдачей оперативных данных и рекомендаций;
- тематическая обработка информации в специализированных региональных центрах.

Подсистема управления природопользованием, состоянием окружающей среды и здоровья населения предназначена для аккумуляции, усвоения и многокритериального анализа всей информации, относящейся к решаемой проблеме.

Для осуществления управления может быть образован Ситуационный центр губернатора (СЦГ) или Руководителя субъекта федерации (аналог ситуационной комнаты Президента РФ), связанный с региональными, федеральными службами и отраслевыми центрами, который позволит эффективно:

- получать информацию по любым информационным каналам;
- отслеживать текущую ситуацию в регионе и анализировать прогноз её развития;
- моделировать и прогнозировать ситуацию, отслеживать результаты принятых решений.

Техническая характеристика подсистемы мониторинга. Аппаратурный состав бортового (вертолет Ми-2) и наземного комплексов подсистемы мониторинга формировался исходя из перечня задач и списка потенциальных объектов мониторинга и управления как природных, так и антропогенных. Аппаратура вертолетного комплекса была, в первую очередь, предназначена для измерения и бортовой регистрации различного рода полей естественного и искусственного происхождения излучения видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов, магнитного поля, а также интенсивности ионизирующего излучения. Наземный измерительный комплекс предназначался как для обеспечения дистанционного мониторинга набором реперных данных, так и проведения самостоятельных исследований химического и элементного состава с помощью масс-спектрометрической аппаратуры [3, 4, 5, 6].

Представим основные технические возможности и области применения аппаратурного комплекса.

1. Спектрорадиометры:

1.1. Видимый диапазон (0,45 – 0,7) μm:

почвы **–** заболоченность, опустынивание, плодородие почв.

1.2. Инфракрасный диапазон (1,55 – 13,5) μm:

вода **–** прозрачность, поверхностные загрязнения, степень эвтрофикации;

растительность **–** тип растительности и стадии вегетации, объем фитомассы, содержание хлорофилла в листьях, заболеваемость, состояние растительного покрова, предсказание урожая;

воздух **–** химический состав (определение антропогенных примесей), прозрачность атмосферы, температура, влажность, озонный слой, солнечная радиация;

снежный покров – загрязнение;

мегаполисы **–** задымленность и динамика ее развития, загрязнение почвы и воды (нефтепродуктами, тяжелыми металлами и коммунальными стоками);

природные и техногенные катастрофы – пожары, очаги их возникновения и зоны распространения, паводки и наводнения;

нефтегазопроводы – утечки и их локализация, разлив нефти.

1.3. СВЧ диапазон (3,7 – 1,1) ГГц:

почвы – влажность, заболоченность, температура;

вода – поверхностные загрязнения, степень эвтрофикации, температура, компоненты химического состава;

растительность – содержание хлорофилла в листьях, состояние растительного покрова;

снежный покров – влажность, загрязнение;

мегаполисы – состояние свалок;

населенные пункты **–** свалки;

природные и техногенные катастрофы – пожары, очаги их возникновения и зоны распространения, ледовая обстановка рек и водоемов;

нефтегазопроводы – утечки и их локализация, состояние подложки.

1.4. Декаметрового диапазона (30 – 50) МГц:

почвы **–** влагозапас, подтопление, засоление почвы;

вода – минерализация, поверхностные загрязнения.

2. Телевизионные камеры:

2.1. Черно-белая, цифровая, видимого диапазона (0,4 – 1,0) μm:

почвы – влагозапас, опустынивание, температура.

2.2. Цветная цифровая видимого диапазона (глубина цвета не хуже 8 бит):

вода – температура;

растительность – заболеваемость, предсказание урожая, техногенные повреждения, поражение лесных территорий;

животный мир – рыба и ее запасы.

2.3. ИК-тепловизоры (3 – 5,4) μm:

мегаполисы – теплопотери, неучтенные крупные потребители электроэнергии, состояние свалок;

техногенные объекты и инженерные сооружения – запасы воды в водохранилищах, экологическая обстановка в зонах атомных станций и прилегающих водоемах, тектонические и гидрологические параметры (степень инфильтрации воды, обводненности и увлажнения прилегающих грунтов и т.д.) в зонах водохранилищ;

природные и техногенные катастрофы – пожары, очаги их возникновения и зоны распространения, паводки и наводнения, ледовая обстановка рек и водоемов, вулканическая деятельность.

3. Магнитометры:

3.1. Квантовый магнитометр (модуль постоянного тока):

мегаполисы – электромагнитные поля сверхнизкой частоты (СНЧ), крупные неучтенные потребители электроэнергии.

3.2. Феррорезонансный магнитометр – градиентометр:

техногенные объекты и инженерные сооружения – тектонические и гидрологические параметры (степень инфильтрации воды, обводненности и увлажнения прилегающих грунтов и т.д.), региональные геофизические

поля (аэромагнитная опорная сеть) и полезные ископаемые, состояние кабельных линий электропередач и контактных сетей железных дорог, координаты подземных и скрытых наземных сооружений;

нефтепроводы – тектонические напряжения вдоль трасс.

4. Приборы контроля радиационной ситуации:

4.1. Аэрограмма, спектрометры, диапазон (0,13 – 3,0) Мэв:

мегаполисы – радиационная обстановка;

населенные пункты **–** санитарное состояние;

техногенные объекты и инженерные сооружения – экологическая обстановка в зонах атомных станций и прилегающих водоемах.

4.2. Радиометр α, β, γ излучение:

мегаполисы – радиационная обстановка;

населенные пункты – санитарное состояние;

техногенные объекты и инженерные сооружения – экологическая обстановка в зонах атомных станций и прилегающих водоемах.

4.3. Измерители:

- **элементного состава** (Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Mo, Cd, Sn):

почвы – засоленность;

вода – поверхностные загрязнения;

снежный покров – загрязнение;

мегаполисы – загрязнение почвы и воды (нефтепродуктами, тяжелыми металлами и коммунальными стоками);

- **газового состава** (аммиак, ацетон, бензин, иприт, заман, зарин, NO_2, CO_2):

воздух – химический состав (определение антропогенных примесей);

мегаполисы – загрязнение воздуха;

населенные пункты – биогенное загрязнение;

нефтегазопроводы **–** утечки и их локализация;

- **концентраций аэрозолей и пыли:**

воздух – прозрачность атмосферы;

мегаполисы **–** задымленность и динамика ее развития, загрязненность воздуха.

5. Приборы для количественного определения и измерения состава вещества:

5.1. Количественное определение элементного и изотопного состава вещества в твердой фазе "ЛАЗМА" (1 – 250) а.е.м.:

почвы – компоненты химического состава, элементный и изотопный состав;

вода – компоненты химического состава, промышленные сточные воды;

воздух – химический состав аэрозольных частиц;

снежный покров – загрязнение;

мегаполисы – загрязненность воздуха, загрязнение почвы и воды (нефтепродуктами, тяжелыми металлами и коммунальными стоками, зоны опасные для жизнедеятельности человека.

5.2. Количественное измерение элементного и изотопного состава атмосферы, молекул летучей органики "МАНАГА" (1 – 3000) а.е.м.:

вода – компоненты химического состава, промышленные сточные воды;

воздух – химический состав (определение антропогенных примесей);

мегаполисы – загрязненность воздуха, зоны опасные для жизнедеятельности человека.

5.3. Количественное определение нелетучей органики в твердой фазе "ЛАРМОР" (1 – 3000) а.е.м.:

почвы – компоненты химического состава;

вода – компоненты химического состава, промышленные сточные воды;

воздух – химический состав аэрозольных частиц;

мегаполисы – загрязненность воздуха, загрязненность почвы и воды, зоны опасные для жизнедеятельности человека.

6. Лидар и газоанализаторы:

6.1. Лидар 0,9 μm:

растительность – предсказание урожая;

воздух – прозрачность атмосферы;

мегаполисы – задымленность и динамика ее развития.

6.2. Спектрально-оптический газоанализатор (0,25 – 0,45) μm:

воздух – химический состав (определение антропогенных примесей), прозрачность атмосферы, химический состав аэрозольных частиц;

мегаполисы – задымленность и динамика ее развития, загрязненность воздуха;

нефтегазопроводы – трассы и состояние нефтегазопроводов, утечка и их локализация.

Выводы. Представленный материал, касающийся региональной системы мониторинга и управления состоянием природопользования, окружающей среды и здоровьем населения, может рассматриваться в качестве пилотного проекта, реализуемого консорциумом ряда научных и производственных предприятий Российской Федерации на территории регионов ЮФО. Его результаты могут быть использованы при доработке Системы с целью ее адаптации к условиям и потребностям других районов РФ.

В качестве более конкретных направлений развития Системы следует указать на возможность расширения функций в области управления социально - экономическими процессами, такими как демографические изменения, динамика качества жизни людей и т.п. Это означает, что администрация регионов будет обладать достаточно широким спектром контроля за наиболее важными сторонами экономики и социума, что, несомненно, будет способствовать стабилизации социально - политической и экономической ситуации в субъектах РВ и, в конечном счете, страны в целом.

Библиографический список

1. Мониторинг здоровья населения Волжского бассейна: отчет по выполнению Федеральной целевой программы "Возрождение Волги" по договору № 21/19, М., ВНТИЦентр, 1999, 122с.

2. Балебаев В.М. Региональная система экологического мониторинга на основе малой авиации: матер. Междунар. конф. "Анализ систем на пороге XXI века". – М., 27-29 февраля 1996. / В.М. Балебаев, О.А.Евсеев, В.И.Костенко и др. - М.: Интеллект, 1996. – Т.2. – С 373-376.

3. Лопес Фалькон Х.А., А. Тамайдо Мендес, Егоров В.В. Некоторые результаты спектрометрических измерений в эксперименте "Антиас" /Акад. Наук СССР, Ин-т космических исследований. Препринт Пр-919, 1984. – 16с.

4. Ведешин Л.А., Егоров В.В. Управление состоянием природных объектов с использованием дистанционного зондирования //Исслед. Земли из космоса. – 1989. – № 6. – С 113-116.

5. Балтер Б.М., Егоров В.В. Природные и информационные циклы в экологическом моделировании и дистанционном зондировании. Концепция и принципы выбора объектов мониторинга. //Исслед. Земли из космоса. – 1994. – №6. – С 19-25.

6. Батищев Ю.А., Костенко В.И. и др. Региональная система управления природопользованием, состоянием окружающей среды и здоровья населения: принципы построения и планирования эксперимента. /Рос. акад. наук, Ин-т косм. Исследований. Препринт-2012, 1999. – 37с.

Материал поступил в редакцию 5.11.08.

Y.A. BATISHEV , V.I. KOSTENKO, V.V. DUDNIK

TECHNICAL MEANS OF CONTROL AND MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES MONITORING OF RUSSIAN SOUTH REGION

The article is devoted to most important questions of rational nature using, environment protection and population health. There are formulated principals of monitorring system. The article describes the complex of technical means for comprehensive checking of earth condition and low altitude atmosphere. There are pointed at way to show output data and domain of it potential using. The conclusion of article describe the next steps improvement of system, adaptation system to region needs and perspectives of it development.

БАТИЩЕВ Юрий Александрович (р.1939), доцент РГАСХМ, кандидат технических наук (1987). Окончил Таганрогский радиотехнический институт (1971).
Область научных интересов – автоматизация технологических процессов.
Количество публикаций – 82.

КОСТЕНКО Валерий Иванович (р.1939), заведующий лабораторией Института космических исследований (ИКИ), доктор технических наук (2003), академик РАЕН (2004). Окончил Московский авиационный институт (1962).
Область научных интересов – космическое приборостроение.
Количество публикаций – 218.

ДУДНИК Виталий Владимирович (р.1969), руководитель научного центра РГАСХМ, доцент (2007), кандидат технических наук (1998).
Область научных интересов – экология, охрана окружающей среды.
Количество публикаций – 45.

УДК 621.9.06:628.5

О.А.КАЛАШНИКОВА, С.А.ШАМШУРА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ШУМООБРАЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ В СОРАЗМЕРНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Приведены результаты теоретического описания шумообразования крупногабаритного оборудования в соразмерном помещении при наличии шумозащитной конструкции. Исходя из условий обеспечения санитарных норм шума получено выражение необходимой толщины элементов звукоизолирующей конструкции. Определены зависимости мощности применительно к длинномерным деталям.
Ключевые слова: *шумозащита, щумоглушение, уровни шума, соразмерные помещения.*

Введение. Особенности эксплуатации оборудования для обработки длинномерных деталей заключаются в том, что вследствие повышенной шумности это оборудование располагается в отдельном помещении. Кроме этого габаритные размеры самого оборудования одного порядка с размерами производственного помещения, что соответствует категории соразмерных помещений.

Постановка задачи. Для выполнения санитарных норм шума следует проектировать системы шумозащиты и рассчитывать их по критерию эффективности шумоглушения (ΔL):

$$\Delta L = L_i - L_{ci} \ , \qquad (1)$$

где L_i – уровни шума источника, дБ; L_{ci} – санитарные нормы шума, дБ.

Уровни шума в помещении при условии расположения источника шума под звукозащитным ограждением определяются по формуле [1]:

$$L = L_W + 10\lg\left(\frac{\chi_{огр}}{S_{огр}} + \frac{4\psi_{огр}}{B_{огр}}\right) + 10\lg S_{огр} + 10\lg\left(\frac{\chi_{П}}{S_P} + \frac{4\psi_{П}}{B_{П}}\right) - ЗИ, \text{ дБ}, \qquad (2)$$

где $B_{огр}$ и $B_П$ – постоянные ограждения и производственного помещения, м^2; $S_{огр}$ – площадь внутренней поверхности звукозащитного ограждения, м^2; χ и ψ – коэффициенты звукового поля над ограждением в производственном помещении; *ЗИ* – звукоизоляция ограждения, дБ; L_W – уровни звуковой мощности источника шума, дБ.

Методы решения. Для оборудования обработки и испытаний длинномерных изделий характерно то, что длина существенно больше ширины и высоты. Поэтому целесообразно применять систему шумозащиты в виде оболочек полуцилиндрической формы или комбинации цилиндрических и плоских элементов. Значительная длина установки определяет соотношение $r/l > 1$, где r – расстояние от центра источника шума до расчетной точки, м; l – длина лонжерона, м. Поэтому χ=4 [1], и в этом случае выражение (2) примет вид:

$$L = L_W - ЗИ + 10\lg\left(1 + \psi_{об}\frac{S_{об} - \sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}{\sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}\right) +$$

$$+10\lg\left(\frac{0{,}32}{r^2} + 4\psi_{П}\frac{S_{П} - \sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}{\sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}\right), \qquad (3)$$

где $\alpha_{iоб}$ и $\alpha_{iП}$ – частотно-зависимые коэффициенты звукопоглощения системы шумозащиты оборудования и производственного помещения; $S_{iоб}$ и $S_{iП}$ – площади соответствующих элементов системы шумозащиты оборудования и производственного помещения, м^2; k_1 – количество элементов системы шумозащиты оборудования; k_2 – количество элементов производственного помещения;

$$\psi = \frac{S - 1{,}3\sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i}{S - \sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i} \text{ при } 0 < \frac{\sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i}{S - \sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i} \le 1{,}5;$$

$$\psi = 0{,}55 \text{ при } \frac{\sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i}{S - \sum_{i=1}^{k}\alpha_i S_i} > 1{,}5.$$

Поскольку система шумозащиты предназначена обеспечить выполнение санитарных норм шума, то в левую часть выражения (3) следует подставить предельно допустимые октавные уровни шума. Тогда требуемое значение звукоизоляции определяется следующим образом:

$$ЗИ = L_W - L_C + 10\lg\left(1 + \psi_{об}\frac{S_{об} - \sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}{\sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}\right) +$$

$$+10\lg\left(\frac{0{,}32}{r^2} + 4\psi_{П}\frac{S_{П} - \sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}{\sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}\right). \qquad (4)$$

При конструировании ограждения следует учесть, что воздушный зазор между источником шума и внутренней поверхностью ограждения должен быть минимально возможным, поскольку резонансы внутреннего воздушного объема приводят к уменьшению звукоизолирующей способно-

сти конструкции, а также то, что система шумозащиты не должна занимать лишней производственной площади.

Стремление к минимизации поверхности системы шумозащиты исключает (или очень сильно ограничивает) возможность варьирования геометрическими размерами. Поэтому для достижения требуемой величины звукоизоляции в распоряжении конструктора остаются только два показателя – материалы элементов ограждения и их толщина.

Звукоизоляция однослойной плоской тонкостенной (в сравнении с длиной и высотой) звукоизолирующей конструкции определяется следующими зависимостями [2]:

при $f \le \dfrac{c_0^{\,2}}{1{,}8 c_{огр} h_{огр}}$ $\quad ЗИ = 20\lg\left(\rho_{огр} h_{огр} f\right) - 60$ дБ; (5)

при $f > \dfrac{c_0^2}{1{,}8 c_{огр} h_{огр}}$ $\quad ЗИ = 20\lg\dfrac{\pi f \rho_{огр} h_{огр}}{\rho_0 c_0} + 5\lg\dfrac{1{,}8 c_{огр} h_{огр}}{c_0^{\,2}} f + \lg\eta + 3$ дБ, (6)

где ρ_0 и c_0 – плотность (кг/м^3) и скорость (м/с) в воздухе; $\rho_{огр}$ – плотность материала ограждения, кг/м^3; $h_{огр}$ – толщина стенки ограждения, м; $c_{огр}$ – скорость распространения продольной волны в материале ограждения, м/с; η – коэффициент потерь колебательной энергии.

Приведем зависимость (6) к следующему виду:

$$ЗИ = 20\lg\rho_{огр} + 25\lg f + 25\lg h_{огр} + \lg\eta - 64 \text{ дБ}. \quad (7)$$

С учетом зависимости (4) получим формулу для определения толщины стенки звукозащитной конструкции, необходимой для выполнения санитарных норм шума:

при частотах ниже граничной

$$\lg h_{огр} = 0{,}05(L_W - L_C) + 0{,}5\lg\left(1 + \psi_{об}\frac{S_{об} - \sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}{\sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}\right) + \quad (8)$$

$$+0{,}5\lg\left(\frac{0{,}32}{r^2} + 4\psi_{П}\frac{S_{П} - \sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}{\sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}\right) - \lg\rho_{огр} f + 3;$$

при частотах выше граничной

$$\lg h_{огр} = 0{,}04(L_W - L_C) + 0{,}4\lg\left(1 + \psi_{об}\frac{S_{об} - \sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}{\sum_{i=1}^{k_1}\alpha_{iоб}S_{iоб}}\right) + \quad (9)$$

$$+0{,}04\lg\left(\frac{0{,}32}{r^2} + 4\psi_{П}\frac{S_{П} - \sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}{\sum_{i=1}^{k_2}\alpha_{iП}S_{iП}}\right) - \lg\rho_{огр} f - 0{,}04\lg\eta + 2{,}56.$$

Полученные выражения (8), (9) справедливы для ограждающих конструкций, выполненных из одного материала и с высокой степенью герметизации. Если звукоизолирующая конструкция состоит из элементов с различной звукоизоляцией, то расчет эффективности производим по формуле [1]:

$$ЗИ = ЗИ_o - 10\lg\frac{S + \sum_1^{k_3} S_i \cdot 10^{0,1(ЗИ_o - ЗИ_i)}}{S_o + \sum_1^{k_3} S_i}, \qquad (10)$$

где $ЗИ_o$ – звукоизоляция основной конструкции, дБ; S_o – площадь основной конструкции, м^2; $ЗИ_i$ и S_i – звукоизоляция (дБ) и площадь i-го элемента.

В этом случае получить в явном виде зависимость требуемой толщины элементов системы шумозащиты невозможно и расчет следует проводить численными методами.

Звукоизоляция цилиндрического ограждения по данным работы [1] определяется следующим образом:

$$ЗИ_ц = 20\lg\left|1 + \frac{m_0 n}{2\rho R_k}\left[1 - \left(\frac{R_y}{R_k}\right)^{2n}\right]\cdot\left[1 - \frac{k_m^2 + \left(\frac{n^2}{R_k^2}\right)^2}{k_u^2}\cdot\frac{\left(k_m^2 - k_t^2\right)\left(k_m^2 - k_{П}^2\right) - k_{П}^2\frac{n^2}{R_k^2}}{\left(k_m^2 + \frac{n^2}{R_k^2} - k_o^2\right)\left(k_m^2 + \frac{n^2}{R_k^2} - k_t^2\right)}\right]\right|, \qquad (11)$$

где $k_o = \frac{2\pi f}{c_o}$; $k_{П} = 2\pi f\sqrt{\frac{\rho}{E}}$; $k_t = 2\pi f\sqrt{\frac{2\rho(1+\mu)}{E}}$;

$R_u = \sqrt[4]{12\left(1-\mu^2\right)\frac{\left(2\pi f\right)^2 m}{Eh^3}}$; $k_m = \frac{m\pi}{l}$, m и n – числа, определяющие соответствующую моду колебаний цилиндрической оболочки.

Если система шумозащиты конструируется в виде Г и П-образных элементов, формула (4) примет вид:

$$ЗИ_{треб} = 0,1\lg\left(L_w - L_c\right)\left[\frac{2\cdot 10^{-0,1ЗИ}}{\pi R^2} arc\,\mathrm{tg}\frac{ab}{2D\sqrt{4D^2 + a^2 + b^2}} + \frac{RD\lambda}{4\pi}\left(1 - 0,6a_{\text{.}}\right)\times\right.$$

$$\times\sum\left(\frac{1}{R_{bi}^3 D_{bi}^2}\cdot arc\,\mathrm{tg}\frac{b}{2D_{bi}} + \frac{1}{R_b^3 D_{b_2}^2}\cdot arc\,\mathrm{tg}\frac{ab}{D_{a_2}\sqrt{4D_{a_2}^2 + a^2 + 4h_p^2}}\right) + \qquad (12)$$

$$\left. + \frac{1-\alpha_э}{\pi h_p^2}\cdot arc\,\mathrm{tg}\frac{4\left(D-R\right)b^2 h_p}{4b^2 h_p + \left(Db + 2Dh\right)\left(Db - 2hR\right)} + \frac{1-\alpha_э}{\left(h_u + h_p\right)^2 + r_0^2}\right] +$$

$$+ \lg\left(\frac{\chi}{4\pi r_u^2} + \frac{4\psi}{B}\right).$$

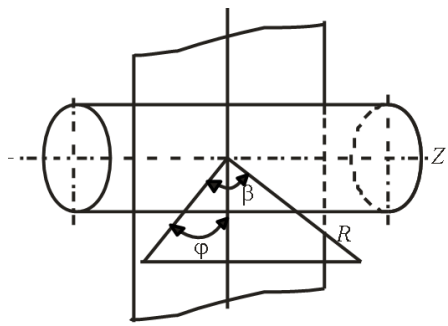
Для теоретического обоснования акустической эффективности средств шумозащиты на этапе проектирования участков испытаний на виб-

ропрочность необходимо определить звуковую мощность самих источников.

Анализ конструктивных особенностей оборудования для виброударного упрочнения, наклепа и динамических испытаний позволяет свести все многообразие конфигураций упрочняемых изделий к двум типам излучателей: линейному источнику и монополю. У длинномерных деталей длина намного больше максимального размера поперечного сечения. Поэтому в качестве модели излучателя звука принят линейный. Звуковое давление, создаваемое таким излучателем для любых распределений колебательных скоростей на поверхности, определяется выражением [1]:

$$P(r,\varphi,z)=\frac{\sqrt{2}i\omega\rho}{\sqrt{\pi}k_0R}\sum_{m_\mu=-\infty}^{\infty}\frac{B_{m_\mu}(k_0\sin\beta)e^{ik_0R}}{\cos\beta\cdot H_{m_\mu}^{1}{}'(k_0R_u\cos\beta)}\exp i\left(m_\mu\varphi-\frac{2m_\mu+1}{2}\pi\right),\quad(13)$$

где $B_{m_\mu}=\frac{1}{(2\pi)^{1,5}}\int_0^{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}V(\varphi,z)\exp-i(m_\mu\varphi+k_0\sin\beta z)d\varphi dz$ – функция, зависящая от амплитудно-фазового распределения колебательной скорости на поверхности лонжерона; $H_{m_\mu}^{1}\left(\sqrt{k_0^2-k_0^2\sin^2\beta}\,r\right)$ – функция Ганкеля первого рода *m*.-порядка (рисунок); F(z)- площадь поперечного сечения, м; k_0 – волновое число, 1/м; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; *c* – скорость звука в воздухе, м/с.



Расчетная схема шумообразования лонжерона

Возмущающее воздействие от технологической нагрузки, что характерно, вызывает колебания лонжерона как твердого тела, т.е. порядок колебаний $m_\mu = 1$.

Тогда выражение (13) примет вид

$$P=\sqrt{\frac{2}{\pi}}\frac{i\omega\rho}{k_0R}\frac{B_{m_\mu}e^{ik_0R}}{\cos\beta\cdot H_{m_\mu}^{1}{}'\left(k_0\sqrt{\frac{F(z)}{\pi}}\cos\beta\right)}\exp i\left(\varphi-\frac{3}{4}\pi\right).\qquad(14)$$

Для рассматриваемого случая осевая вибрация меньше радиальной, поэтому распределение колебательной скорости на поверхности лонжерона представим в виде:

$$V(\varphi,z)=\begin{cases}V(z)e^{i\varphi} & \text{при} \quad 0\le z\le l;\\ 0 & \text{при} \quad |z|>l.\end{cases} \tag{15}$$

Подставляя это выражение в выражение (13), B получим (при m_μ=1)

$$B_{m_\mu}=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{\ell}V(z)\exp-i\left(k_0 z\sin\beta\right)dz\,. \tag{16}$$

Параметры источника шума (геометрические размеры, спектр собственных мод колебаний) определяют характер излучения. Для низкочастотной части спектра выполняется соотношение $k_0R_ц\cos\beta<1$.

Заменив производную функции Ганкеля ее асимптотическим представлением [3]

$$H^{1'}\left(k_0R_ц\cos\beta\right)=i\frac{1}{\pi}\left(\frac{2}{k_0\sqrt{\frac{F(z)}{\pi}}\cos\beta}\right)^2, \tag{17}$$

получим выражение звукового давления в следующем виде

$$|P|=0,03\frac{f_k^2B_{m_\mu}F(z)}{R}\cos\beta\exp i\left(k_0R+\varphi-\frac{3\pi}{4}\right), \tag{18}$$

где f_k – собственная мода колебаний, Гц; $F(z)$ – площадь поперечного сечения упрочняемого изделия, м^2.

Для средне и высокочастотной части спектра выполняется соотношение $k_0R_ц\cos\beta>1$. Заменив производную функции Ганкеля ее асимптотическим представлением

$$H^{1'}\left(k_0R_ц\cos\beta\right)=-i\sqrt{\frac{2}{\pi k_0R_ц\cos\beta}}\exp i\left(k_0R_ц\cos\beta-\frac{5\pi}{4}\right), \tag{19}$$

получим выражение звукового давления

$$|P|=43\frac{f_k^2B_{m_\mu}f_k^{0,5}F(z)^{0,25}\cos^{0,5}\beta}{R}\exp i\left(k_0R+k_0R_ц\cos\beta-2\pi\right). \tag{20}$$

Звуковая мощность определяется известными соотношениями, связывающими звуковое давление, интенсивность звука и звуковую мощность [3]

$$W=\frac{P^2}{\rho c}F_n, \tag{21}$$

где F_n – площадь поверхности источника звука, м^2.

Для упрочняющего инструмента и вибратора на стендах динамических испытаний в качестве модели источника шума принят монополь, звуковое давление которого определяется как [3]

$$P=\frac{V_kf_k\rho F}{2R\sqrt{1+\left(k_0r_0\right)^2}}\exp i\left(2\pi f_k-k_0\left(R-r_0\right)+\varphi-\frac{\pi}{2}\right), \tag{22}$$

где V_k – скорость колебаний корпуса, м/с; r_0 – максимальный линейный размер источника, м.

Таким образом, задача теоретического определения уровней шума сводится к определению скоростей колебаний на собственных частотах отдельных источников, возбуждаемых технологической нагрузкой или воздействием вибратора при динамических испытаниях.

Выводы. Как видно из полученных выражений, требуемая звукоизоляция определяется геометрическими и механическими параметрами самого ограждения, что уже известно на этапе проектирования. Фактический расчет систем шумозашиты определяется зависимостями скоростей колебаний на собственных модах колебаний самого источника (V_k).

Библиографический список

1. Борисов Л.П. Звукоизоляция в машиностроении / Л.П.Борисов, Д.Р.Гужас. – М.: Машиностроение, 1990. – 250 с.

2. Иванов Н.И. Основы виброакустики /Н.И.Иванов, А.С.Никифоров. – СПб.: Политехника, 2000 – 412 с.

3. Никифоров А.С. Акустическое проектирование судовых конструкций: справочник /А.С.Никифоров. – Л.: Судостроение, 1990. – 200с.

Материал поступил в редакцию 17.11.08.Рецензия

S.A.SHAMSHURA, O.A.KALASHNIKOVA

MODELLING OF FORMATION OF NOISE OF THE EQUIPMENT FOR PROCESSING OF LENGTHY DETAILS IN PROPORTIONAL PREMISES

In article results of the theoretical description шумообразования the large-sized equipment in a proportional premise are resulted at presence шуморзащитной designs. Proceeding from conditions of maintenance of a sanitary code of noise expression of a necessary thickness of elements of a soundproofing design is received. Dependences of capacity with reference to lengthy details are received.

Шамшура Сергей Александрович (р.1977), доцент кафедры «Вертолетостроение» института «Управление и Инновации авиационной промышленности», кандидат технических наук (2006). Окончил Ростовский государственный университет путей сообщения (1999), вечернее отделение механико-математического факультета Ростовского государственного университета (2000).

Область научных интересов: виброакустическая динамика технологических систем.

Имеет 20 научных публикаций.

Калашникова Оксана Александровна, инженер ОАО «Роствертол». Окончила ЮРГТУ по специальности «Технология электро-химических производств» (2006).

Область научных интересов: виброакустическая динамика технологических систем.

Имеет 3 публикации.

УДК 621:658.345

В.Г. ЛЕБЕДЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ДРОБЕМЕТНЫХ КАМЕР

Описана модель процесса снижения загрязнения воздушной среды. Приведена методика и даны результаты экспериментальных исследований эффективности процесса очистки воздуха для дробеметной камеры.
Ключевые слова: *дробеметная камера, эффективность очистки, низконапорное орошение.*

Введение. Особое место в комплексе задач охраны труда принадлежит обеспечению комфортных условий труда в производственных помещениях и на территориях промышленных площадок, включающему снижение концентрации загрязняющих веществ. Из всех видов примесей, загрязняющих воздушную среду, весьма значимая доля принадлежит пылевым частицам. Наибольшую опасность при этом представляют мелкодисперсные частицы пыли, размеры которых не превышают 50 мкм.

Значительный вклад в загрязнение воздушной среды пылевыми аэрозолями вносят дробеметные и дробеструйные камеры, образующие и выделяющие в производственную среду мелкодисперсные пылевые аэрозоли, частицы которых способны находиться в воздухе длительное время, и представляющие собой большую опасность для здоровья операторов.

Постановка задачи. Для поддержания параметров воздуха рабочей камеры в соответствии с нормируемыми используют различные системы вентиляции, эффективность которых обусловливается рациональной организацией процессов улавливания и удаления пылевого аэрозоля непосредственно из зон его образования. Наиболее приемлемой для выбора типа устройств улавливания и очистки, а также рационального выбора их рабочих параметров является методика, разработанная и апробированная для других технологий снижения загрязнения воздуха авторами работ [1,2]. Основным критерием в этой методике выступает эффективность снижения загрязнения воздуха. Для реализации процесса очистки воздуха от пыли для вышеуказанного оборудования предназначена схема, изображенная на рис.1.

Реализация процесса снижения загрязнения воздуха дробеметной камеры предполагает последовательную организацию трех основных этапов: улавливание загрязняющих веществ, очистку воздуха от них и рассеивание остаточного количества загрязняющих веществ в воздушной среде. Основой реализации этого процесса является разрушение пылевого аэрозоля как дисперсной системы с целью его дальнейшего удаления из рабочей камеры. Блок-схема физической модели процесса снижения загрязнения воздушной среды для дробеметной камеры, иллюстрирующая взаимосвязь перечисленных выше основных этапов реализации процесса, представлена на рис.2.

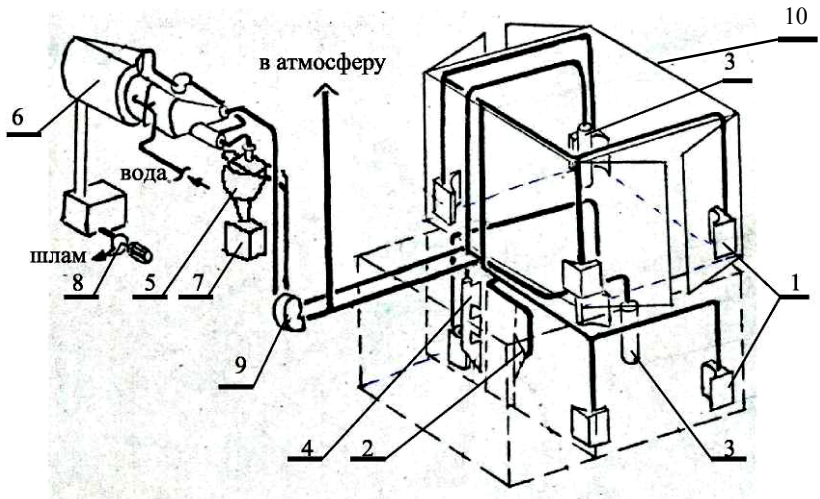


Рис.1. Технологическая схема системы борьбы с пылью дробеметной камеры: 1 - щелевой нагнетающий насадок; 2 - вихревой нагнетающий насадок; 3 - всасывающий насадок;, 4 - дифференцированный всасывающий насадок; 5 - первая ступень очистки (шаровой циклон); 6 - вторая ступень очистки (устройство «ОТПО-1»); 7- бункер-пылесборник; 8 - дренажный насос; 9 – вентилятор; 10 - рабочая камера

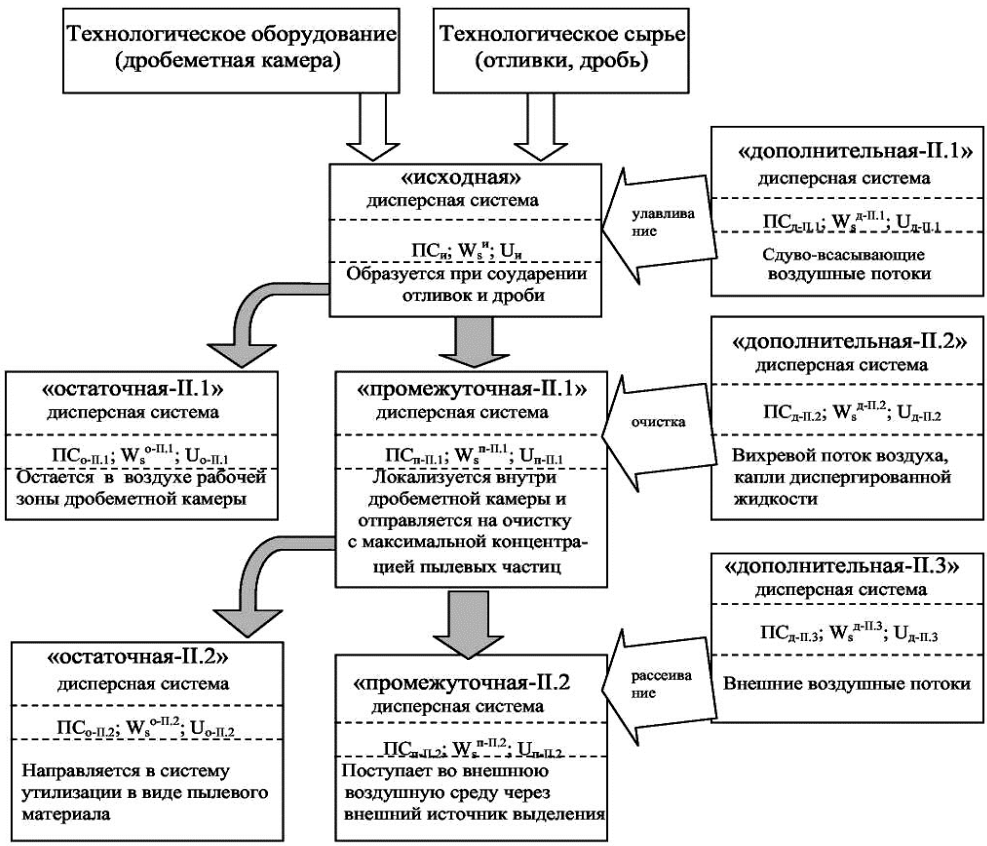


Рис. 2. Блок-схема физической модели процесса снижения загрязнения воздушной среды для дробеметной камеры

Первый этап - улавливание загрязняющих веществ с позиций теории дисперсных систем, сводится к созданию «дополнительной -II.l» дисперсной системы с определенными свойствами ($ПС^{д\text{-}II.1}$). Принудительное воздействие «дополнительной -II.l» дисперсной системы на «исходную» дисперсную систему (пылевой аэрозоль в зоне источника его выделения) позволяет разрушить последнюю. При этом образуются «промежуточная-II.1» дисперсная система, имеющая максимально сконцентрированную дисперсную фазу, изолированную от окружающей среды и предназначенную для транспортировки в зону ее дальнейшего разрушения – на очистку, и «остаточная-II.1» дисперсная система с концентрацией загрязняющих веществ ниже значения ПДК, которая остается в воздухе рабочей камеры.

Второй этап – очистка воздуха от загрязняющих веществ, предполагает предварительное создание "дополнительной-II.2" дисперсной системы с такими свойствами ($ПС^{д\text{-}II.2}$), которые обеспечивали бы максимально возможное разрушение "промежуточной-II.1" дисперсной системы за счет разделения ее дисперсной фазы и дисперсионной среды (твердых частиц и воздуха). В результате такого воздействия образуются две дисперсные системы: "остаточная-II.2" и "промежуточная-II.2". При этом "остаточная-II.2" представляет собой выделенную из аэрозоля дисперсную фазу, которая должна направляться в систему утилизации. "Промежуточная-II.2" дисперсная система представляет собой загрязняющие вещества, беспрепятственно прошедшие зону очистки, поступающие в воздушную среду через внешний источник выделения (выхлопную трубу вентиляционной системы рабочей камеры).

Третий этап – рассеивание загрязняющих веществ, заключается в приготовлении "дополнительной-II.3" дисперсной системы с такими свойствами ($ПС^{д\text{-}II.3}$), которые смогли бы обеспечить интенсивное удаление друг от друга частиц загрязняющего вещества, выбрасываемых в воздушную среду, а также их ускоренное выпадение из воздуха на заранее отведенных территориях. В результате такого воздействия образуются две дисперсные системы: "остаточная-II.3" и "остаточная-II.4". При этом "остаточная-II.3" дисперсная система за счет принудительного воздействия на нее стремится к разрушению в приземном слое атмосферы, а "остаточная-II.4" дисперсная система остается витающей в воздушной среде и, в конечном счете, формирует остаточную концентрацию загрязняющих веществ в воздушном бассейне территории предприятия.

На участке использования дробеметной камеры система снижения загрязнения воздушной среды (ССЗВС) должна включать два этапа: улавливание и очистку. Каждый этап может быть реализован различными методами (аэродинамическим, гидродинамическим, механическим, электромагнитным, оптическим и другими), которые определяются физической сущностью направленных на загрязняющий аэрозоль внешних воздействий.

В результате анализа свойств загрязняющих веществ, выделяющихся при обработке отливок дробью, установлено, что тонкодисперсные частицы пыли горелой формовочной смеси и окалины обладают достаточно значимыми аэродинамическими параметрами. Именно поэтому целесообразно организовать их улавливание во внутреннем объеме дробеметной камеры аэродинамическим методом. При аэродинамическом улавливании в качестве внешних воздействий (дополнительных дисперсных систем) выступают воздушные потоки.

На основе оценки возможности применения различных технологий очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу, от пылевого аэрозоля дробеметной камеры для дальнейшего анализа отобраны следующие технологии, основанные на реализации аэродинамического и гидродинамического методов:

– вихревыми воздушными потоками в циклонном аппарате;

– низконапорным орошением (давление орошающей жидкости перед соплом оросителя составляет 0,2-2,0 МПа);

– высоконапорным орошением (давление орошающей жидкости перед соплом оросителя составляет 7,2-15,0 МПа).

Из перечисленных выше основных технологий очистки воздуха от пылевого аэрозоля дробеметной камеры наиболее приемлемыми по технологическим требованиям, безопасной эксплуатации, простоты технологической схемы и удобства обслуживания для условий участков обработки отливок являются вихревая аэродинамическая очистка и очистка низконапорным орошением.

Авторами работ [1,2] предложено оценивать эффективность гидродинамического метода очистки низконапорным орошением при эксплуатации дробеметной камеры по следующей зависимости:

$$E_{эф(оч)}^{ГД} = \left[1 - \left(1 - 0.67\left(\frac{3.6 \cdot \mathrm{B}}{\mu_в \cdot V_к \cdot D_к \cdot D_ч^2}\right)^{1,5}\right) \times \right.$$

$$\times \left(1 - 0,032 \cdot q \cdot \sqrt{\frac{D_к \cdot \rho_{ж}}{Q_н \cdot D_ч \cdot \mu_в \cdot V_к}}\right) \times \qquad (1)$$

$$\left. \times \left(1 - \frac{\rho_ч \cdot D_ч^2 \cdot V_к}{18 \cdot \mu_в \cdot D_к \cdot \left(stk + 10^{n_1}\right)}\right)\right] \cdot \frac{\cos\Theta}{\cos\Theta + 10^{-n_1}},$$

где B – константа межмолекулярного взаимодействия с учётом эффекта электромагнитного запаздывания, Дж·м^2; q – удельная электрозаряженность жидкостного аэрозоля, Кл/кг; $D_к$ – средний размер капель жидкости, м; $V_к$ – средняя скорость капли жидкости с учётом режима распространения жидкостного аэрозоля, влияния скорости внешних аэродинамических потоков и физико-химических свойств поверхностного слоя капель жидкости, м/с; $\rho_ж$ – плотность диспергируемой жидкости, кг/м^3; $Q_н$ – расход орошающей жидкости в активной зоне очистки, кг/с; Θ – динамический краевой угол смачивания, град; n_1 – коэффициент, учитывающий взаимное направление движения частиц пыли и капель диспергированной жидкости в активной зоне очистки.

Описание эксперимента. Практическая проверка результатов теоретических исследований легла в основу проведения промышленных экспериментов в реальных производственных условиях на базе дробеметной камеры модели ОМ-9981-070 литейного цеха ОАО «Ростверстол».

В качестве контрольно-измерительной аппаратуры в экспериментальных исследованиях использовали дифференциальный манометр ММН-6, электронные аналитические весы 2-го класса точности WA-33, электронный секундомер Т-100, амперметр, вольтметр, манометры водяные, термометры водяные, электроаспиратор модели 822, аллонжи, фильтры АФА-10.

Методика эксперимента. Экспериментальные исследования включали два этапа: предварительный и основной. Целью предварительного этапа экспериментов являлось определение аэродинамических и гидродинамических характеристик системы очистки воздуха:

1) по воздуху:

– варьируемые параметры: расход воздуха, создаваемый вентилятором во всасывающей и нагнетающей ветвях системы;

– измеряемые параметры: полное аэродинамическое давление $H_п$ (Па) в сечениях всасывающих и нагнетающих насадков, а также в точках воздуховодов до и после каждой камеры ступени очистки;

– расчетные параметры: скорость воздушного потока $V_в$ (м/с) в выбранных точках замеров; потери напора в системе ΔH (Па);

2) по воде:

– варьируемые параметры: давление, создаваемое насосом; угол наклона оросителей к центральной оси устройства очистки; объем рабочей жидкости в баке приготовления воды;

– измеряемые параметры: угол раскрытия факела орошения в активной зоне очистки α (град); длина активной зоны факела орошения l (м).

Целью основного этапа экспериментальных исследований являлось определение значений эффективности процесса очистки в соответствующих диапазонах изменения варьируемых параметров.

Измеряемые результирующие параметры:

– концентрация пылевого аэрозоля в воздухе рабочей зоны оператора дробеметной камеры;

– концентрация пылевого аэрозоля в воздуховоде перед первой ступенью очистки;

– концентрация пылевого аэрозоля в воздуховоде после первой ступени очистки;

– концентрация пылевого аэрозоля в воздуховоде после второй ступени очистки.

Рассчитываемый результирующий параметр по зависимости (1):

– эффективность очистки $E_{эф(оч)}$ (%) воздушного потока от пылевого аэрозоля.

Результаты экспериментального определения эффективности очистки представлены графически (рис.3).

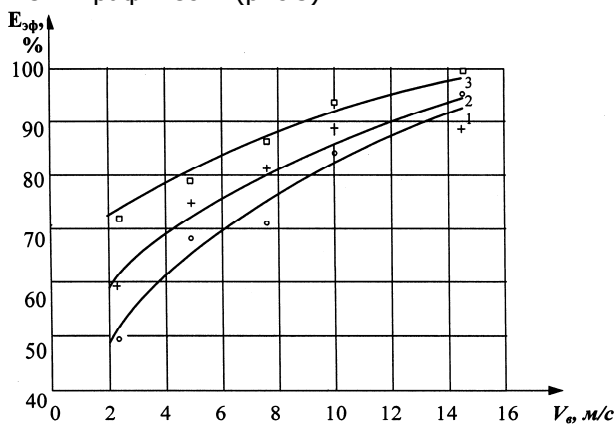


Рис. 3. Эффективность очистки (эксперимент):
1 – при давлении орошающей жидкости $Н_ж$ = 0,2 МПа;
2 – при давлении орошающей жидкости $Н_ж$ = 0,4 МПа;
3 – при давлении орошающей жидкости $Н_ж$ = 0,6 МПа

Выводы. На основе анализа физической модели процесса снижения загрязнения воздушной среды для дробеметной камеры можно предложить структуру специальной инженерно-экологической системы, в которой на пылевые частицы будут последовательно и целенаправленно оказываться соответствующие внешние воздействия. Анализ основных характеристик объектов (загрязняющий аэрозоль, пылеобразующий материал, технологическое сырье), участвующих в процессе загрязнения воздушной среды, позволяет предложить схему последовательного перевода загрязняющих веществ как дисперсной системы из одного качественного состояния в другое с целью снижения концентрации последних до значений, не превышающих ПДК.

Учитывая изложенное выше, можно предложить оборудовать помещения камер для обработки дробью на предприятиях машиностроения механической приточно-вытяжной вентиляцией, назначением которой будут являться реализация аэродинамического улавливания частиц пылевого аэрозоля вихревыми сдуво-всасывающими воздушными потоками и дальнейшая очистка уловленного аэрозоля вихревым аэродинамическим методом и низконапорным орошением.

Библиографический список

1. Беспалов В.И. Моделирование и проектирование систем борьбы с промышленной пылью: сб. науч. тр. «Обеспыливание при проектировании, строительстве и реконструкции промышленных предприятий» / В.И. Беспалов, В.П.Журавлев. – Ростов н/Д: Изд-во РИСИ, 1989. – 154 с.

2. Журавлев В.П. Системный подход к решению проблемы обеспыливания воздуха в промышленности: сб. науч. тр. «Борьба с пылью в строительстве и промышленности» /В.П.Журавлев, В.И.Беспалов. – Ростов н/Д: Изд-во РИСИ, 1989. – С. 64.

Материал поступил в редакцию 20.10.08.

V.G.LEBEDENKO

RESEARCH OF EFFICIENCY OF DECREASE{REDUCTION} OF THE DUST CONTENT IN WORKING ZONE OF JETFRACTION CHAMBERS

The model of process of decrease of pollution of the air environment, and also technique and results of experimental researches of efficiency of process of clearing of air for jetfraction chambers is resulted.

ЛЕБЕДЕНКО Вячеслав Георгиевич (р.1975), ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды» Донского государственного технического университета. Окончил ДГТУ (1998) по специальности «Технология машиностроения». Занимается исследованием процесса обработки дробью с учетом обеспечения безопасных условий труда оператора.
Опубликовано более 20 научных статей.

УДК 658.345:621.874+06

С.А. РАЗДОРСКИЙ, И.Е. ВИЛИНОВ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕКТРОВ ШУМА В КАБИНАХ МОСТОВЫХ КРАНОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОЗДУШНОГО ШУМА

Приведены результаты экспериментальных исследований в кабинах мостовых кранов. Выявлено влияние источников на формирование звукового поля в кабинах.
Ключевые слова: *шум, вибрации, мостовые краны.*

Введение. Мостовые краны занимают на современных промышленных предприятиях ведущее место в обеспечении транспортно-технологических потоков, являются одним из наиболее распространенных типов грузоподъемных кранов — доля мостовых кранов в Российской Федерации составляет более 30% от общего количества грузоподъемных кранов.

Краны относятся к категории технологического оборудования повышенной опасности. Анализ аварийности и травматизма показывает, что материальный и социальный ущерб от аварий с мостовыми кранами, работающими в закрытых цехах с непрерывными технологическими процессами, весьма значим, а проблеме повышения безопасности этих кранов и их основных элементов следует уделять особое внимание. На этом фоне возникает острая необходимость в количественной оценке безопасности крановых канатов.

Статистические исследования травматизма на предприятиях, а также дефектов канатов свидетельствует о том, что:

– на мостовые краны приходится 18% случаев аварий на грузоподъемных кранах;

– доля структурных дефектов, которые приводят к внезапным отказам каната, а следовательно, и к аварии мостового крана с последующим возникновением опасных ситуаций для работающих составляет 16%;

– среднее значение коэффициента частоты травматизма, учитывающего количество несчастных случаев в 2003 г., составило 0,22, что является выше среднего коэффициента частоты травматизма ($К_{ч.\ ср.}$ = 0,21) за период 1993—2003 гг.

Следует также отметить, что значительная доля аварий происходит в связи с утомляемостью операторов, которая, в свою очередь, связана с воздействием шума повышенного уровня.

Методика исследования. В процессе экспериментов изучались следующие вопросы:

- влияние отдельных источников на шумовые характеристики внутри кабины;

- влияние излучения отдельных элементов ограждения кабины на акустические характеристики на рабочем месте оператора;

- разделение воздушной и структурной составляющей шума;

- звукоизолирующие свойства отдельных элементов ограждения кабины, так как характерной особенностью конструкции кабины является большая площадь остекления (особенно передней стенки).

Для того чтобы определить доли воздушного объема и структурного шума, влияние внутренних источников на формирование шума в кабине в соответствующих частотных полосах, измеряем амплитудно-частотную характеристику воздушного объема кабины методом прозвучивания. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

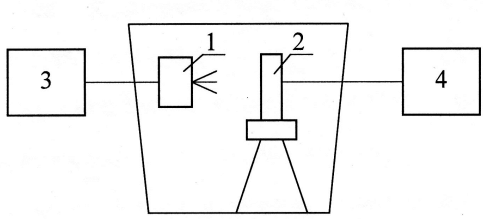


Рис.1. Измерительный тракт для прозвучивания внутреннего воздушного пространства: 1 – источник шума; 2 – микрофон; 3 – звуковой генератор; 4 – шумомер

Внутри кабины устанавливался динамик, настраиваемый звуковым генератором, и микрофон. При плавном изменении частоты настройки источника звука фиксировались максимальные уровни звукового давления и соответствующая частота настройки.

Результаты экспериментов. Результаты замеров представлены на рис.2.

С достаточной для инженерных расчетов точностью результаты для частот (Гц) определяются из условия граничной частоты

$$f_{гр} = \frac{200}{\sqrt[3]{V}}, \qquad (1.1)$$

где V – объем кабины, м^3.

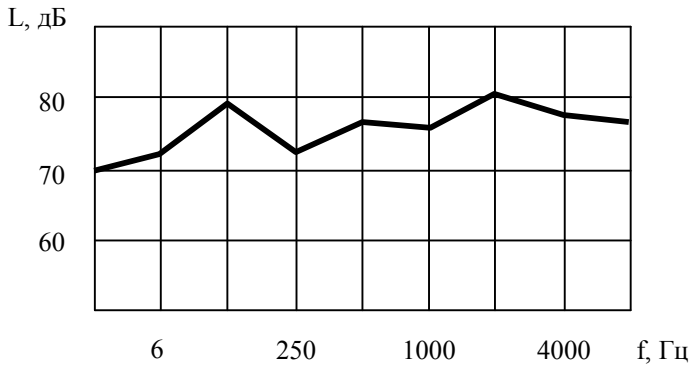


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика воздушного объема

Граница диффузности в кабинах составляет 232 Гц. Таким образом, начиная с четвертой октавы, звуковое поле в кабине можно считать диффузным.

Для оценки диффузности звукового поля в кабине использовалось среднеквадратичное отклонение пространственного распределения уровней звукового давления, которое определялось по формуле:

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{N_p}\sum_{i=1}^{N_p}\left(L_i - \overline{L}\right)^2}\ , \qquad (1.2)$$

где $\overline{L} = \frac{1}{N_p}\sum_{i=1}^{N_p} L_i$ – среднее звуковое давление в кабине, дБ; N_p – число измерений ($N_p = 10$); L_i – уровень звукового давления в *i*-й точке.

Результаты расчетов показали, что $S_p < 3$ дБ. Таким образом, результаты измерений являются статически достоверными.

Обсуждение результатов. Результаты измерений показали, что у кранов различного функционального назначения наблюдаются общие закономерности в процессах формирования вибраций и шума в кабинах. Естественно, различается интенсивность воздействия на кабину различных источников. Исследования проводились для кранов с традиционным расположением кабины у края моста, т.е. в непосредственной близости от рельса, а также для кранов, у которых кабина располагается на грузовой тележке, т.е. вблизи рабочих органов (редукторов и двигателей механизмов подъема и перемещения). Измерения проводили в 50 кабинах, которые существенно различаются по исполнению и условиям эксплуатации. В частности, в двух кабинах отсутствовало остекление. Уровни звука на рабочем месте крановщиков в этом случае составили 92 – 94 дБА (рис.3), т.е. на 12 – 14 дБА превышают норматив. В четырех кабинах имеются отверстия в полу. В этом случае уровни звука составляют 90 – 92 дБА и превышение составляет 10 – 12 дБА. У шести кабин окна и двери собраны со щелями, и уровни звука составляют 88 – 90 дБА (превышение 8 – 10 дБА). В 12 кабинах, что составляет 24% обследованных объектов, наблюдаются щели в остеклении передней и боковых стенок. Уровни звука – 86 – 88 дБА, т.е. превышают

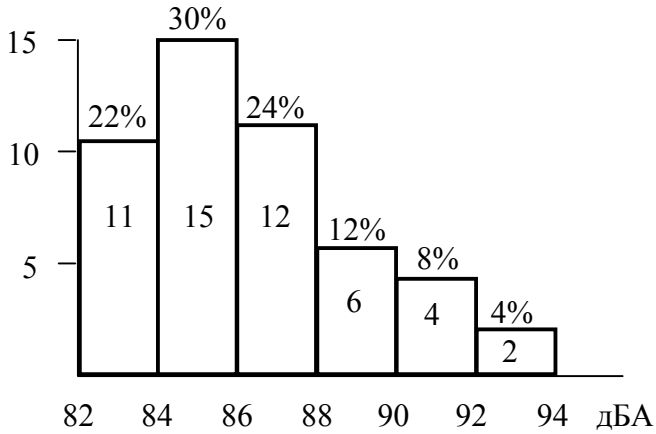


Рис.3. Гистограмма распределения уровней звука (дБА) в кабинах мостовых кранов

норматив на 6 – 8 дБА. Акустическая облицовка отсутствует у всех обследованных кабин. Несмотря на то, что в 26 кабинах (52%) отсутствуют нарушения герметизации, уровни звука превышены на 2 – 6 дБА. Причем в 11 кабинах на полах установлены коврики, и в этом случае наблюдается минимальное превышение уровней звука (2 – 4 дБА). Поэтому экспериментальные проверки поэлементного вклада отдельных источников на виброакустические характеристики в кабине показаны для кабин, имеющих щели на остеклении, отверстия в полу, и для кабин без нарушений герметизации.

Следует отметить существенный разброс уровней шумового фона в помещении цеха (рис.4).

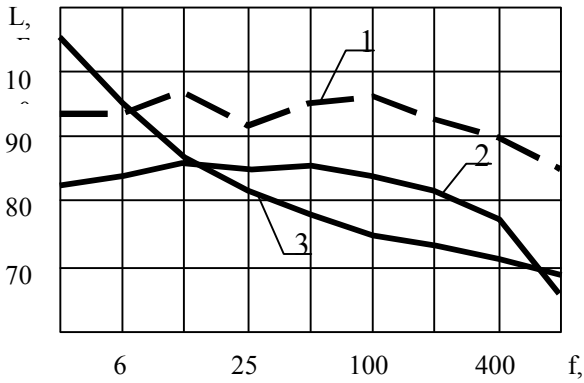


Рис. 4. Уровни звукового давления в помещении цеха:
1 – кузнечно-прессового; 2 – механосборочного;, 3 – норматив

На рис.4 приведены спектры шума для наиболее неблагоприятных акустических условий. Замеры уровней звукового давления производились снаружи кабины на расстоянии 100 мм от ограждений. Микрофон ориентировался в направлении расположения технологического оборудования. Спектры шума в кабине при воздействии только внешних источников для различного исполнения кабин представлены на рис. 5.

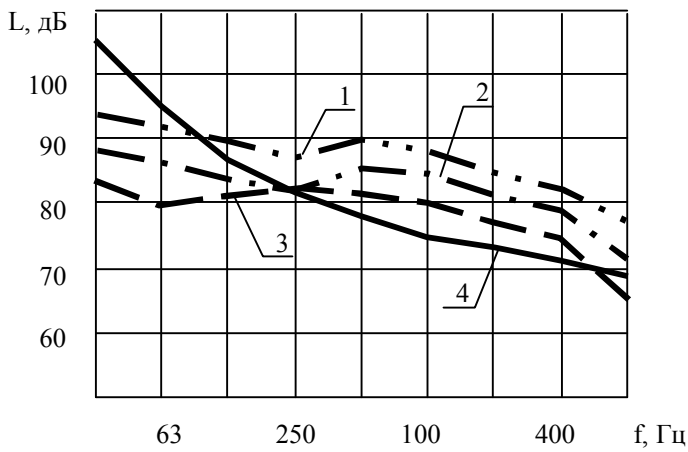


Рис.5. Спектры шума в кабинах: 1 – при наличии отверстий в полу; 2 – при наличии щелей в остеклении; 3 – в герметизированной кабине; 4 – норматив

Замеры проводились при отключенных рабочих органах, чтобы полностью исключить влияние структурной доли шума не только от вибрационного воздействия при движении крана, но и от вибрационного воздействия от рабочих органов. В этом случае наиболее наглядно прослеживаются звукоизолирующие характеристики различных исполнений элементов ограждения кабины. Характер спектров шума практически полностью идентичен. Наиболее высокие уровни шума в кабине создаются при ослабленной звукоизоляции пола. В этом случае превышение уровней шума составляет 5 – 12 дБА в широкой полосе частот 250 – 8000 Гц. Данные подтверждают теоретические выводы в том, что пол кабины в наибольшей степени подвергается не только воздействию структурной составляющей, но и воздушной доли шума со стороны технологического оборудования. Щели элементов остекления в меньшей степени оказывают влияние на повышенный шум в кабине. Действительно, в этом варианте превышение над нормативом также наблюдается в широкой полосе частот 500 – 8000 Гц, но величины превышения составляют 3 – 8 дБ. При нарушенной герметичности даже звуковой сигнал приводит к превышению уровней звукового давления в кабине (рис.6).

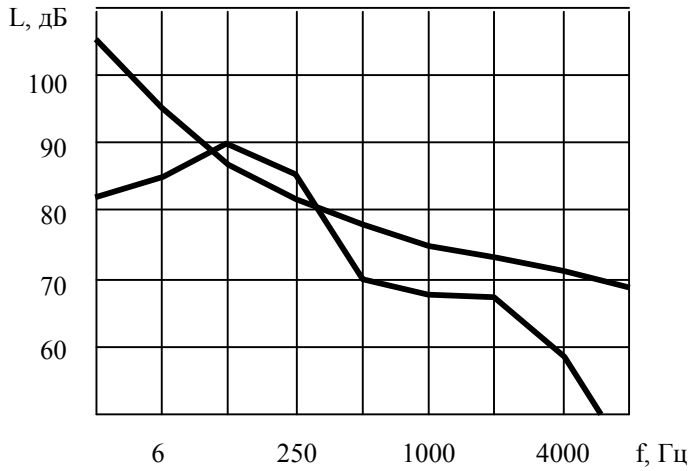


Рис. 6. Спектры шума в кабине
при включенном звуковом сигнале

Однако эти результаты позволяют выяснить физику процесса шумообразования, но не представляют большого практического интереса, так как кабины с нарушениями герметизации не могут эксплуатироваться согласно нормативам охраны труда. Следует отметить, что даже в герметизированных кабинах уровни шума от шумового фона в цехах превышают санитарные нормы (см.рис.3) на 2 – 4 дБ в широком частотном диапазоне 500 – 4000 Гц. Эти результаты имеют большой практический интерес и доказывают недостаточную звукоизолирующую способность элементов ограждения кабины. Дальнейшие эксперименты проводились на кабинах, соответствующих требуемым условиям эксплуатации, т.е. имеющих достаточную герметизацию.

При компоновке кабины на грузовой тележке акустическое воздействие со стороны рабочих органов сравнимо с влиянием шумового фона в цехе (рис. 7 и 8).

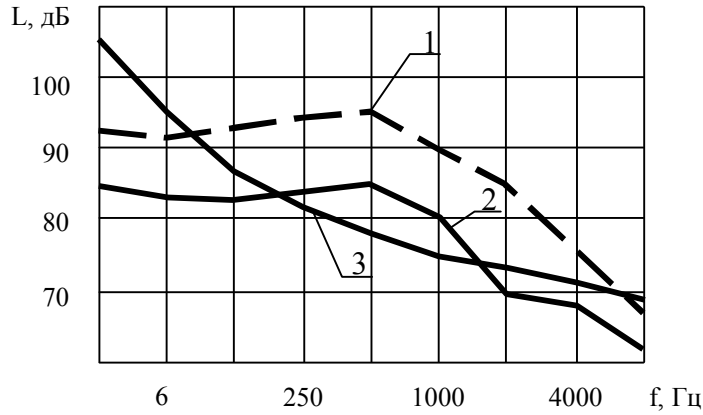


Рис.7. Спектры шума рабочих органов:
1 – спектр шума рабочих органов; 2 – спектр шумового фона в сборочном цехе; 3 – норматив

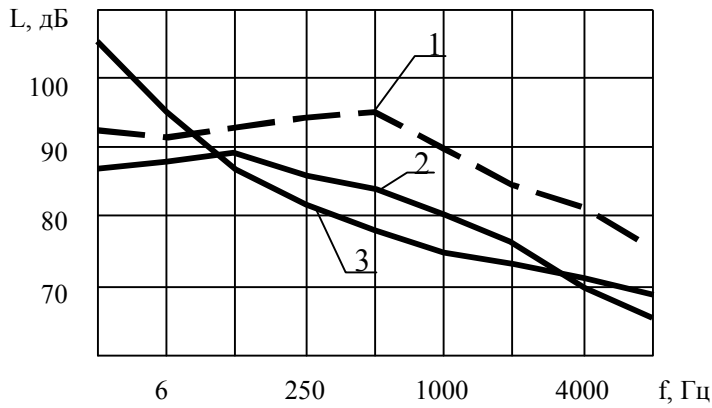


Рис.8. Спектры шума в кабине крана: 1 – при открытых окнах; 2 – при закрытых окнах; 3 – норматив

Измерения проводились при неподвижной тележке и показали, что уровни звукового давления в кабине также превышаются в широкой полосе частот 125 – 2000 Гц. Превышение над санитарными нормами составляет 3 – 5 дБ. Звукоизолирующая способность у такой кабины также недостаточна. Наиболее высокие уровни шума в кабине зафиксированы при движении крана (рис.9).

В этом случае превышение уровней звукового давления составляет 4 – 9 дБ в широком частотном диапазоне 125 – 8000 Гц, достигая максимума в среднечастотной части спектра (6 – 11 дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 500 – 1000 Гц). Причем наблюдается увеличение уровней шума в высокочастотной части спектра 2000-8000 Гц. Эта закономерность объясняется структурной долей шума и воздушной составляющей со стороны рельса.

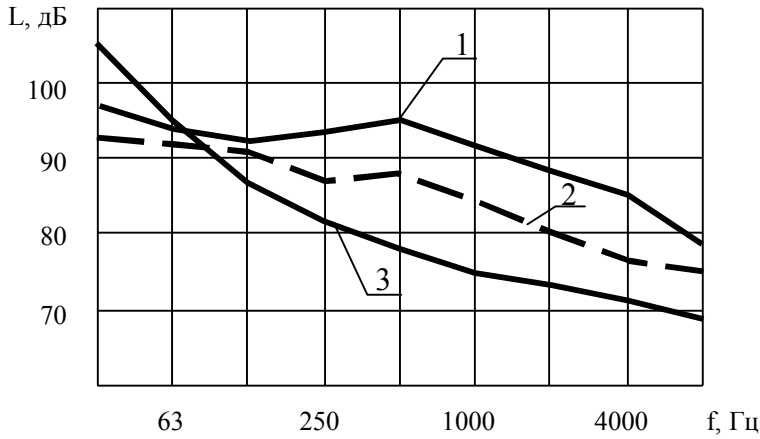


Рис.9. Спектры шума в кабине при движении крана:
1 – при закрытых окнах; 2 – при открытых окнах; 3 – норматив

Влияние внутренних источников шума на формирование акустических характеристик в кабине проверялось в литейных цехах, где из-за высокой температуры в кабинах устанавливаются кондиционеры. Эти измерения проводились во время перерыва, когда были отключены все источники шума. Результаты измерений показали, что внутренние источники шума также приводят к превышению санитарных норм (рис.10). Уровни звукового давления превышаются на 2-3 дБ в среднечастотной части спектра 250 – 1000 Гц.

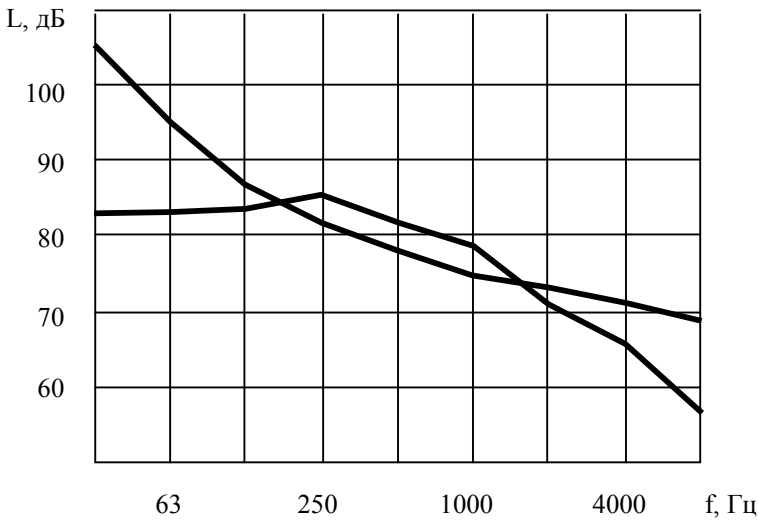


Рис. 10. Спектры шума в кабине при работающем кондиционере:
1 – спектр шума; 2 – норматив

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о существенном вкладе воздушной составляющей шума от внешних и частично внутренних источников в формирование акустических характеристик в кабине кранов, а также о недостаточной звукоизолирующей способности элементов ограждения кабины.

Материал поступил в редакцию 26.11.08.

S.A. RAZDORSKIY, I.E. VILINOV

LAWS OF FORMATION OF SPECTRA OF NOISE IN CABINS OF BRIDGE CRANES FROM INFLUENCE OF SOURCES OF AIR NOISE

Results of experimental researches in cabins of bridge cranes are resulted. Influence of sources on formation of a sound field in cabins is revealed.
Keywords: noise, vibrations, bridge cranes

РАЗДОРСКИЙ Сергей Анатольевич (р. 1977), старший преподаватель кафедры «Дополнительное профессиональное образование» Ростовского государственного университета путей сообщения, соискатель кафедры «Бизнес-системы и технологии» института управления и инноваций авиационной промышленности. Окончил РГЭУ (РИНХ) (1999).
Область научных интересов: безопасность условий труда операторов кранов.
Имеет 3 научные публикации.

ВИЛИНОВ Игорь Евгеньевич (р. 1962), генеральный директор ОАО «НМТП», профессор кафедры «Бизнес-системы и технологии» института управления и инноваций авиационной промышленности, доктор экономических наук (2002). Окончил Одесский институт инженеров морского флота (1982).
Область научных интересов: экономика, управление и организация производства, портовое хозяйство, грузоподъемные машины.
Автор более 50 научных публикаций.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 631.331

А.Ю. НЕСМИЯН, П.Я. ЛОБАЧЕВСКИЙ, В.И. ХИЖНЯК

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПРИСАСЫВАЕМОЕ СЕМЯ В ВАКУУМНОМ ВЫСЕВАЮЩЕМ АППАРАТЕ

Изложены методика и результаты экспериментальных исследований, позволяющие установить направление равнодействующей сил сопротивления, влияющих на семя, захватываемое присасывающим отверстием вакуумного высевающего аппарата пропашной сеялки. Данные могут быть использованы при теоретических расчетах параметров и режимов работы подобных аппаратов.
***Ключевые слова**: пропашная сеялка, вакуумный высевающий аппарат, присасывающее отверстие, действующие силы.*

Введение. На сегодняшний день для посева пропашных культур чаще всего применяют сеялки, снабженные вертикально-дисковыми вакуумными высевающими аппаратами. Однако они применимы только для культур, высеваемых с большими интервалами по длине рядка, когда окружная скорость присасывающих отверстий не превышает 0,3 м/с [1]. В связи с этим ведутся работы по модернизации существующих аппаратов пропашных сеялок и созданию новых, обеспечивающих качественное дозирование семян с большими нормами посева. Разработка таких аппаратов затрудняется тем, что существующая теория их работы носит в основном гипотетический характер, и ее элементы плохо поддаются экспериментальной проверке.

Постановка задачи. Одним из важнейших процессов при дозировании семян пневматическим высевающим аппаратом является процесс захвата единичного семени присасывающим отверстием и вынос его из слоя других семян. При его рассмотрении принято считать [2], что в плоскости, параллельной плоскости высевающего диска, на семя действуют следующие силы (рисунок): F – сила трения поверхности высевающего диска о семя; Рк – Кориолисова сила; Ртр – сила трения прилежащего слоя семян о присасываемое семя; mg – сила тяжести; Рв – сила вертикального давления вышележащего слоя семян; Рпв – сила подпора семени ворошителем через слой семян; Рцб – центробежная сила; $m\frac{dv}{dt}$ – сила инерции.

Сила F является «полезной» силой, способствующей выносу единичного семени из слоя других семян. Все остальные силы условно считаются силами, мешающими выносу семени (силы сопротивления).

При этом некоторые авторы [3, 4], рассматривающие теорию работы пневматического высевающего аппарата, полагают, что составляющая равнодействующей сил сопротивления, направленная радиально, пренебрежимо мала по сравнению с тангенциальной, поэтому равнодействующую сил сопротивления можно условно считать направленной по оси x (см.рисунок). По другой версии [2, 5] равнодействующая сил сопротивления будет отклоняться от тангенциального направления в сторону периферии высевающего диска (в направлении линии 1 на рисунке).

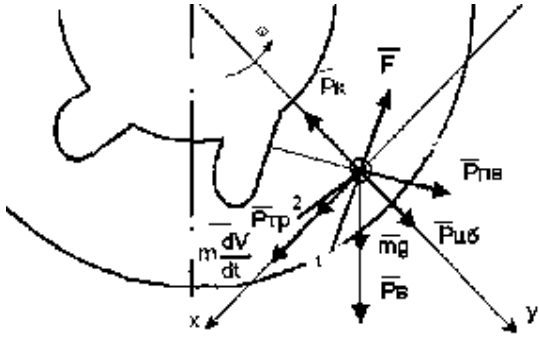


Схема сил, действующих на присасываемое семя в плоскости, параллельной плоскости высевающего диска

Однако и то и другое утверждение носит гипотетический характер, поэтому целью данной работы является экспериментальное определение направления действия равнодействующей сил сопротивления.

Методика проведения эксперимента. В эксперименте плоский цилиндрический магнит, имитирующий присасываемое семя, размещался на высевающем диске аппарата сеялки СПК-8 таким образом, чтобы его ось вращения проходила через центр присасывающего отверстия. В свою очередь диск в аппарате устанавливался так, чтобы отверстие с магнитом располагалось в нижней части семенной камеры. Затем в бункер засыпались семена, а диск проворачивался до момента выхода магнита из образовавшегося слоя семян. Под воздействием сил сопротивления магнит смещался относительно центра присасывающего отверстия, причем направление смещения магнита демонстрировало направление действия равнодействующей сил сопротивления. (Значением Кориолисовой силы пренебрегали, поскольку ее расчетная величина значительно меньше других сил, действующих на частицу у высевающего диска).

Исследования проводились на семенах подсолнечника, кукурузы и клещевины в ста повторностях для каждой культуры.

Результаты экспериментов. Полученные результаты приведены в таблице, где ε - угол отклонения магнита от прямой, касательной к окружности расположения центров присасывающих отверстий.

Результаты имитационных экспериментов

Показатель	Подсолнечник	Клещевина	Кукуруза
Среднее значение, ε, град	7	9	8
Максимальное значение, ε_{max} град	13	41	12
Минимальное значение, ε_{min}, град	0	0	0
Среднеквадрат. отклонение., σ, град	3	5,5	4
Относительная ошибка опыта, a_0, %	4,3	6,1	5,0

Следует отметить, что при проведении эксперимента направление равнодействующей сил сопротивления в большинстве случаев смещалось от тангенциального направления к центру высевающего диска (линия 2 на рисунке).

Выводы. По полученным данным видно, что равнодействующие сил сопротивления отклоняются от тангенциальной оси x в среднем на угол восемь градусов, причем к центру высевающего диска, т.е. ни одно из изложенных выше предположений не является верным, и теория работы пневматического высевающего аппарата требует дальнейшей доработки.

Библиографический список

1. Журавлев Б.И. Классификация и анализ конструкций пневматических высевающих аппаратов// Тракторы и сельхозмашины. – 1964. –№12. – С.25-28.

2. Несмиян А.Ю. Совершенствование технологического процесса высева семян тыквы аппаратом пневматической сеялки: автореф. дис…. канд. техн. наук /А.Ю.Несмиян. – Зерноград, 2002. – 19 с.

3. Бертов А.А. Интенсификация технологического процесса высева семян подсолнечника аппаратом пневматической сеялки: автореф. дис…. канд. техн. наук / А.А.Бертов. – Зерноград, 1984. – 18 с.

4. Черемисин Ю.М. Совершенствование процесса высева семян хлопчатника аппаратом пневматической сеялки: автореф. дис…. канд. техн. наук /Ю.М.Черемисин. – Зерноград, 2003. – 18 с.

5. Лобачевская Н.П. Совершенствование процесса высева семян клещевины аппаратом пневматической сеялки: автореф. дис… канд. техн. наук /Н.П.Лобачевская. – Зерноград, 2001. – 18 с.

Материал поступил в редакцию 28.07.08.

A. NESMIYAN, P. LOBACHEVSKY, V. KHIZHNYAK

THE EXPERIMENTAL SPECIFYING OF THE DIRECTION OF THE RESULTANTS OF RESISTANCE, INFLUENCING THE SUCKED SEED IN THE VACUUM SOWING APPARATUS

The method and the results of the experimental investigation is expounded, which allow to set the direction of the resultants of resistance, influencing the seed, caught by the sucking hole of the vacuum sowing apparatus of the exact drill. The data can be used in theoretical calculation of the parameters and the working regimes of such apparatus.

НЕСМИЯН Андрей Юрьевич (р. 1976), доцент кафедры «Механизация растениеводства» ФГОУ ВПО Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии, кандидат технических наук. Окончил Азово-Черноморскую агроинженерную академию.
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Имеет более 50 научных публикаций.

ЛОБАЧЕВСКИЙ Петр Яковлевич (р. 1922), профессор кафедры «Механизация растениеводства» ФГОУ ВПО Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии, кандидат технических наук. Окончил Азово-Черноморскую агроинженерную академию.
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Имеет более 200 научных публикаций.

ХИЖНЯК Владимир Иванович (р. 1972), доцент кафедры «Механизация растениеводства» ФГОУ ВПО Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии, кандидат технических наук. Окончил Азово-Черноморскую агроинженерную академию.
Научные интересы в области механизации сельского хозяйства.
Имеет более 50 научных публикаций.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Статья должна быть представлена в двух экземплярах, распечатанных через 1,5 интервала на белой бумаге формата А4, ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 14.

2. Текст статьи представляется также на магнитном носителе (дискета, CD-диск) в формате текстового редактора "Word for Windows 6.0" или передается по электронной почте.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: инициалы и фамилии авторов; полное название статьи; краткая (3-6 строк) аннотация; ключевые слова (3 – 8). Затем идет текст самой статьи, библиографический список.

4. Дополнительно к статье должен быть представлен реферат на английском языке, включающем инициалы, фамилию автора и полное название статьи.

5. Статья должна предусматривать разделы: Введение, Постановка задачи, Методы испытаний, Результаты эксперимента и их обсуждение, Выводы или Заключение.

6. Объем статьи не должен превышать 16 страниц машинописного текста, 5 рисунков или фотографий; обзора - 25 страниц, 10 рисунков; краткого сообщения - не более 3 страниц, 2 рисунков.

7. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров "Excel", "Quattro Pro", "MS Graph". Каждый рисунок должен иметь подпись. Рисунки должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в формульном редакторе MS Word.

8. Размерность физических величин, используемых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.).

9. Библиографический список должен включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг - фамилии и инициалы авторов, название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

10. На отдельной странице должны быть представлены краткие сведения об авторах статьи (год рождения, год присвоения степени и звания, название вуза и год его окончания, должность, область научных интересов, количество публикаций).

11. Редколлегия оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие правилам оформления, к рассмотрению не принимаются, рукописи и магнитные носители авторам не возвращаются. Датой поступления считается день получения редколлегией окончательного текста статьи.